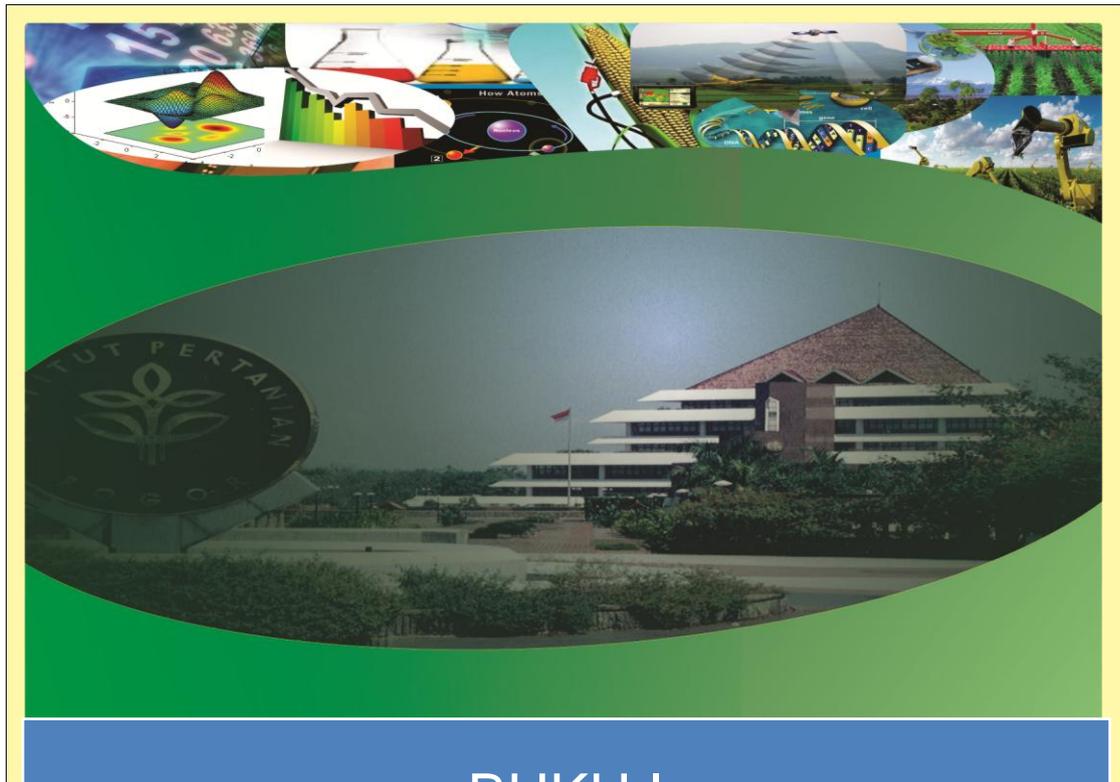


ISBN : 978-979-95093-8-3

PROSIDING

Seminar Nasional Sains V

Sains Sebagai Landasan Inovasi dalam Bidang Energi, Lingkungan dan Pertanian Berkelanjutan



BUKU I

Statistika, Matematika, Ilmu Komputer, Fisika

Diterbitkan Oleh :



Institut Pertanian Bogor
**Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam**

ISBN: 978-979-95093-8-3

Seminar Nasional Sains V

10 November 2012

Sains Sebagai Landasan Inovasi dalam Bidang Energi, Lingkungan dan Pertanian Berkelanjutan

Prosiding

Dewan Editor

Dr. Kiagus Dahlan
Dr. Sri Mulijani
Dr. Endar Hasafah Nugrahani
Dr. Suryani
Dr. Anang Kurnia
Dr. Tania June
Dr. Miftahudin
Dr. Charlena
Dr. Paian Sianturi
Sony Hartono Wijaya, M Kom
Dr. Tony Ibnu Sumaryada
Waras Nurcholis, M Si.
Dr. Indahwati
Drs. Ali Kusnanto, M Si.



Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam

**Institut Pertanian Bogor
2012**



Copyright© 2012
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
Prosiding Seminar Nasional Sains V ” Sains Sebagai Landasan Inovasi dalam Bidang Energi,
Lingkungan dan Pertanian Berkelanjutan ” di Bogor pada tanggal 10 November 2012
Penerbit : FMIPA-IPB, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680
Telp/Fax: 0251-8625481/8625708
<http://fmipa.ipb.ac.id>
Terbit 28 November 2012
xi + 905 halaman
ISBN: 978-979-95093-8-3.

KATA PENGANTAR

Seminar Nasional Sains adalah kegiatan rutin yang diselenggarakan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor sejak Tahun 2008. Tahun ini adalah penyelenggaraan yang ke-5, dengan tema “Sains Sebagai Landasan Inovasi dalam Bidang Energi, Lingkungan dan Pertanian Berkelanjutan”.

Kegiatan ini bertujuan mengumpulkan peneliti-peneliti dari berbagai institusi pendidikan dan penelitian baik perguruan tinggi maupun lembaga-lembaga penelitian dari seluruh Indonesia untuk memaparkan hasil-hasil penelitian terkait penerapan sains (statistik, biosains, klimatologi, kimia, matematika, ilmu komputer, fisika, dan biokimia) pada peningkatan produktivitas pertanian dalam arti luas. Seminar Nasional Sains V ini akan diikuti oleh lebih dari 200 orang peserta dengan sekitar 80 peserta sebagai pemakalah pada sesi presentasi paralel yang berasal dari berbagai perguruan tinggi dan lembaga penelitian di Indonesia.

Diharapkan dari kegiatan ini dapat memberikan informasi perkembangan sains, memicu inovasi-inovasi teknologi yang berlandaskan sains, meningkatkan interaksi dan komunikasi antar peneliti, pemerhati, dan pengguna sains dan teknologiserita menjalin kerjasama riset dan penerapan sains dan teknologi antar peneliti, pemerhati, dan pengguna sains dan teknologi khususnya yang terkait dengan peningkatan produktivitas pertanian.

Pantia mengucapkan selamat mengikuti seminar, semoga memberikan manfaat sebesar-besarnya.

Bogor, November 2012

PANITIA

DAFTAR ISI BUKU 1

			Hal
	Kata Pengantar		iv
	Daftar Isi		v
<i>Bidang : Statistika</i>			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Andzar Syafa'atur Rahman, Hari Wijayanto, Noer Azam Achsani, La Ode Abdul Rahman	Penerapan <i>Fuzzy C-Regression</i> dalam Pendugaan Model Nilai Tanah (Studi Kasus : Lima Kecamatan Di Kota Bekasi)	3-12
2	I Dewa Gede Richard Alan Amory, Muhammad Nur Aidi, Etih Sudarnika	Penerapan Fungsi Diskriminan dalam Deteksi Dini Penentuan Status Mastitis Subklinis pada Sapi Perah (Studi Kasus : Kawasan Usaha Ternak Cibungbulang, Kabupaten Bogor Tahun 2010-2011)	13-23
3	Nurul Qomariasih, I Made Sumertajaya, Sutoro	Analisis Ragam Daya Gabung dan Resiprokal Bobot Biji Jagung dalam Persilangan Dialel Lengkap	24-34
4	Astri Fitriani, Yenni Angraini, Asep Saefuddin	Analisis Spasial Data Panel pada Pola Konsumsi per Kapita Propinsi Jawa Barat dengan Pendekatan Matriks <i>Queen Contiguity</i> dan Akses Jalan	35-48
5	Bimandra Adiputra Djaafara, Anik Djuraidah, Aji Hamim Wigena	Deteksi Gerombol dengan Metode K-Rataan Kernel Gauss	49-62
6	Dwi Haryo Ismunarti	Sudut Minimum Antar Sub Ruang Vektor untuk Memelajari Asal Sedimen Di Perairan Rebon Kabupaten Batang Jawa Tengah	63-72
7	Mia Amelia, Muhammad Nur Aidi, Dian Kusumaningrum	Penerapan Regresi Logistik Spasial untuk Data Penyakit Demam Berdarah Dengue (Dbd) Di Kota Bogor	73-81
8	Nuril Anwar, Anang Kurnia, Yenni Angraini	Pemodelan Tingkat Pengangguran Di Lima Negara Anggota Asean Dengan Regresi Data Panel dan <i>Generalized Estimating Equation</i>	82-93
9	Gusti N.A. Wibawa, Aunuddin, A.A. Mattjik, I M Sumertajaya	Pengaruh Ulangan Terhadap Dugaan Parameter Model Ammi dengan Komputasi Menggunakan Pendekatan Bayes	94-106
10	Didin Saepudin, Asep Saefuddin	Regresi Poisson Terboboti Geografis untuk Menganalisis Data Gizi Buruk (Studi Kasus: Pulau Jawa tahun 2008)	107-121
11	Mulya Sari, Hari wijayanto, Yenni	Pemodelan Produksi Cabe Di Kabupaten Majalengka dengan Regresi Polinom	122-134

	Angraini		
12	Anita Pratiwi, Anang Kurnia, La Ode Abdul Rahman	Pendugaan Total Populasi pada Peubah dengan Sebaran Lognormal (Studi Kasus: Data Susenas 2007 Pengeluaran Rumah Tangga Kota Bogor)	135-149
13	Anni Fithriyatul Mas'udah, Anang Kurnia, Dian Kusumaningrum	Metode Regresi <i>Least Trimmed Squares</i> pada Data yang Mengandung Pencilan	150-161
14	Mohammad Masjukur	Model Spasial Percobaan Pemupukan Padi Sawah	162-170
15	Nur Hikmah, Yenni Angraini, Asep Saefuddin	Pemodelan tingkat produk domestik regional bruto kabupaten/kota jawa barat dengan spasial data panel	171-185

Bidang : Matematika

No.	Penulis	Judul	Hal
1	Hamzah Upu	Proses Pengembangan Perangkat Pembelajaran Matematika Bertaraf Internasional	189-203
2	M. W. Talakua, F. Y. Rumlawang, F. Kondo Lembang dan G. Loupatty	Pereduksian dimensi data luaran gcm stasiun ambon dengan menggunakan metode <i>principal component analysis</i> (pca)	204-212
3	Nur Aprianti Dwiyatcita, Farida Hanum, Toni Bakhtiar	Penjadwalan Kereta Api Jalur Ganda: Model Job-Shop dan Aplikasinya	213-223
4	Nurus Sa'adah, Toni Bakhtiar, Farida Hanum	Penerapan Prinsip Maksimum Pontryagin pada Sistem Inventori-Produksi	224-235
5	Muhammad Ilyas, Mieko Yamada, Edy Tri Baskoro	Daftar Lengkap Katakode GEH dengan Bobot Lee Minimum atas Ring Galois	236-245
6	Embay Rohaeti, Jaharuddin, Ali Kusnanto	Penggunaan Metode Homotopi Pade' Untuk Menyelesaikan Masalah Lotka–Volterra Logistik	246-257
7	Dewi Senja Rahmahwati, Ali Kusnanto, Jaharuddin	Analisis Kestabilan Model Infeksi Virus Hepatitis B dengan Pertumbuhan Hepatosit yang Bersifat Logistik	258-270
8	Jacob Stevy Seleky, Endar H. Nugrahani, I Gusti Putu Purnaba	Pengaruh Dividen Terhadap Penentuan Nilai Opsi Saham Tipe <i>Up-and-Out Call</i> di Bursa Efek Indonesia	271-282
9	Nurul Khotimah, Farida Hanum, Toni Bakhtiar	Penerapan <i>fuzzy goal programming</i> dalam penentuan investasi bank	283-292
10	Maya Widyastiti, Farida Hanum, Toni Bakhtiar	Implementasi <i>fleet size and mix vehicle routing problem with time windows</i> pada pendistribusian koran	293-302
11	Jose Bonatua	Modifikasi Model <i>Exponentially Weighted Moving</i>	304-314

	Hasibuan, Endar H. Nugrahani, I Gusti Putu Purnaba	<i>Average</i> Untuk Menduga Volatilitas Saham Di Bursa Efek Indonesia	
12	Endar H. Nugrahani	Penyelesaian masalah nilai batas pada model opsi <i>put</i> amerika dengan volatilitas stokastik	315-322
13	Bib Paruhum Silalahi	Batas Atas Iterasi metode titik Interior dengan Central Path dalam menyelesaikan masalah optimasi linear	323-332

Bidang : Ilmu Komputer

No.	Penulis	Judul	Hal
1	I. Widyastuti, S. H. Wijaya	Penentuan Rute Optimum Dalam Supply Chain Network dengan Algoritma Ant Colony untuk Kota Dan Kabupaten Bogor	335-345
2	Jaidan Jauhari, Abdiansah	Analisis Dan Perancangan <i>Intelligent Tutoring System</i> (Its) Menggunakan <i>Case Based Reasoning</i> Sebagai Upaya Inovatif Untuk Pembelajaran Pemrograman Komputer	336-358

Bidang : Fisika

No.	Penulis	Judul	Hal
1	Novizal, Eva Ridiwati, Kemas A. Zaini Thosin	Analisis Hasil Pelapisan Coni Pada Subtrat Baja St 37 Dengan Kombinasi Metode Deposisi Elektroplating Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (Sem)	361-370
2	M. N Indro, H. Wiranata, and S.G. Sukaryo	Hardness and Corrosion Rate of CoCrMo	371-376
3	M. Dirgantara, M. Saputra, P. Aulia, Z. Deofarana, B. Setiadi, H. Syafutra, A. Kartono	Simulasi sel surya model dioda dengan hambatan seri dan hambatan <i>shunt</i> berdasarkan variasi intensitas radiasi, temperatur, dan susunan modul	377-386
4	Faozan Ahmad, Zuliyatin, Husin Alatas	Dinamika soliton pada rantai protein alpha heliks berdasarkan ansatz ii model davydov	387-396
5	Elvan Yuniarti, Siti Ahmiatri Qolby Sabrina	Kajian sifat optik glukosa darah	397-404
6	Tony Sumaryada, Heriyanto Syafutra, Robi Sobirin, Ajeng Widya Roslia	Simulasi awal perancangan sel surya <i>double junction</i> gaas/ge	405-415
7	Ajeng Widya Roslia, Tony Sumaryada	Pengaruh <i>surface texturing</i> germanium (ge) dan silikon (si) pada disain sel surya menggunakan program pcid	416-425
8	Leni Marlina, Ida Sriyanti, Feri Iskandar dan Khairurrijal	Pengaruh waktu <i>hot-pressing</i> terhadap kekuatan tekan material nanokomposit	426-436
9	Ida Sriyanti	Pengembangan elektronik kamus untuk mata kuliah fisika dasar	437-447

DAFTAR ISI BUKU 2

			Hal
	Kata Pengantar		iv
	Daftar Isi Buku 1		v
	Daftar Isi Buku 2		viii
<i>Bidang : Geofisika dan Meteorologi</i>			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Sonni Setiawan dan Sandro Welyanto Lubis	Identifikasi Gelombang Kelvin Atmosfir Ekuatorial Di Indonesia Berbasis Data Ncep/Ncar Reanalysis I	451-463
2	Andi Syahid Muttaqin, Ahmad Bey	Potensi Pemanfaatan Keluaran Model NWP Untuk Prediksi Cuaca Jangka Pendek (Studi Kasus: Pontianak, Pekanbaru, Semarang, Surabaya Dan Palu)	464-476
3	Mirnawati Zulaikha, Bregas Budianto	Analisis Data Hujan di Beberapa Wilayah Sungai Jawa Bagian Barat	477-486
4	Fella Fauziah Hermayana, Ahmad Bey	Kajian Atmosfer Bawah Wilayah Tropis Dan Subtropis	487-496
5	Tania June	Pendekatan mikrometeorologi untuk pendugaan neraca karbon hutan: sistem korelasi <i>eddy</i>	497-504
6	Akfia Rizka Kumala, Yon Sugiarto	Analisis Pengaruh Curah Hujan Terhadap Produktivitas Garam Studi Kasus: Pegaraman I Sumenep Pt. Garam (Persero)	505-514

<i>Bidang : Biologi</i>			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Wirdhatul Muslihatin, Ruspeni Daesus	Pengaruh Panjang Hari Penyinaran Terhadap Pertumbuhan Dan Pembungaan Rosela (<i>Hibiscus Sabdariffa</i> Linn.)	517-525
2	Rugayah dan Sugiarno	Upaya Peningkatan Keberhasilan Penyetekan Sirih Merah Melalui Penggunaan Zat Pengatur Tumbuh dan Jumlah Buku pada Dua Jenis Media Tanam	526-534
3	Tri Dewi Andalasari, Y C Ginting, Sri Rama Diana, Nova Rina Firzayanti	Pengaruh Pembelahan Subang Terhadap Produksi Bunga Dan Subang Gladiol (<i>Gladiolus Hybridus</i> L.) Kultivar Holland Putih Dan Holland Pink	535-543
4	Mukh Syaifudin, Siti Nurhayati, Teja Kisnanto dan Gideon Sirait	Studi transfer parasit rodensia <i>plasmodium berghei</i> iradiasi dari induk ke anak mencit <i>swiss webster</i> melalui penyusuan	544-552
5	Ence Darmo Jaya Supena, Ikra Nugraha, Dorly	Penggandaan Krom osom Jati (<i>Tectona grandis</i> L.) dengan Oryzalin dalam Kultur <i>In Vitro</i> dan Pendugaan Tingkat Ploidii	553-562
6	Srikandi, Lilis Sugiarti, Ahmad Fauzi	Produksi Miselia <i>Trichoderma Harzianum</i> , Rifai Sebagai Inokulan Biofungisida Menggunakan Beberapa Media Alternatif Yang Ekonomis	563-572

Bidang : Kimia			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Rania Vinata, Armi Wulanawati , M Khotib	Sintesis Dan Pencirian Ester Dari Asam Oleat Dan Polioliol Berbasis-Onggok	575-584
2	Buhani, Narsito, Nuryono, dan Eko Sri Kunarti	Penerapan Desorpsi Sekuensial Pada Penentuan Interaksi Ion Cd(Ii) Dengan Adsorben Hibrida Amino-Silika Tercetak Ion	585-593
3	Dyah Iswantini, Bara Taufan S, Novik Nurhidayat, Trivadila	Biosensor Antioksidan Menggunakan Superoksidan Dismutase Secara Elektrokimia: Penentuan Linieritas dan Stabilitas	594-603
4	Rusnadi, Buchari, M. Bachri Amran	Kinetika Adsorpsi Ion Ce^{3+} dengan Mikrokapsul Kalsium Alginat Berisi 1-fenil-3-metil-4-benzoil-5-pirazolon (HPMBP)	604-612
5	Euis Julaeaha, Desak Made Malini, Ajeng Diantini	Pengaruh Pemberian Senyawa Antifertilitas C30 Sterol yang Diisolasi dari Daun <i>Clerodendron serratum</i> terhadap viabilitas sel murine RAW 265.7	613-618
6	Evy Ernawati, Solihudin, Iman R, Rosiyyan	Pembuatan Membran Selulosa Asetat Dari Kayu Albasia	619-624
7	Zainuddin Muchtar, Arifista S.W. Harefa	Pembuatan Pulp Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Metode Organosolv	625-639
8	Muhammad Bachri Amran	<i>Palladium Imprinted Polymers</i> sebagai Material Fungsional untuk Pemungutan Palladium dari Biji Besi	640-647
9	Hasnah Natsir, Seniwati Dali, Mahdaliah, Nurlaeli Fattah, Muhammad Nadir	Produksi Protease dari <i>B. lichemiformis</i> HSA3-1a dan Aplikasinya dalam Isolasi Kitin dari Limbah Udang Secara Enzimatis	648-656
10	Henry Setiyanto, Vienna Saraswaty, Rukman Hertadi, Indra Noviadri, Buchari Buchari	Studi Penentuan Reaktivitas Kimia Mekloretamin Menggunakan Metode Voltametri Siklik	657-662
11	<u>Leny Heliawati</u> , Tri Mayanti, Agus Kardinan, Rukmiati K Cokronegoro	Uji Toksisitas Ekstrak Buah Gwang (<i>Corypha utan</i> Lamk.) terhadap Larva Udang <i>Artemia salina</i> leach	663-669
12	Muhammad Ali Zulfikar , Novi Srawaili	Penggunaan Biji Kelor (<i>Moringa Oliefera</i>) Untuk Menurunkan Kadar Mangan Dalam Air	670-676
13	Charlena, Henny Purwaningsih, Rahmat Hafid	Fosfatisasi Kalsium Karbonat Cangkang Telur Ayam Dan Kajiannya Pada Proses Adsorpsi Logam Timbal	677-692
14	Harjo' Purwantiningsih	Sintesis Polioliol Sebagai Bahan Dasar Pembentuk	693-704

	Sugit and Zainal Alim Mas'ud	Poliuretan Berbasis Minyak Jarak Pagar	
15	Charlena, Zainal Alim, Abdul Haris, Fajar Kurniawan	Bioremediasi Senyawa Hidrokarbon Pada Tanah Tercemar Limbah Minyak Berat Menggunakan Teknik <i>Landfarming</i>	705-715
16	Sri Sugiarti	Studi Kondisi Reaksi Kopling Silang Heck Menggunakan Katalis POP-Paladium	716-725
17	Tetty Kemala, Ahmad Sjahriza, Guslina Isriany	Optimasi dan Evaluasi Mikroenkapsulasi Medroksiprogesteron Asetat Tersalut Poli(ϵ -kaprolakton) dengan Lilin Lebah	726-737
18	Miksusanti, Zainal Fanani, Ahmad Rizal	Kajian Kinetika Reaksi Perubahan Warna Campuran Pigmen Rosella, Manggis dan Secang	738-750
19	Herlina, Ferlina Hayati, Christin	Isolasi Steroid dari Daun Tanaman Daun Dewa (<i>Gynura pseudochina</i> (Lour) DC) dan Aktivitas sebagai Antibakteri	751-762
20	Mohammad Khotib, Zainal Alim Mas'ud, Anwar Nur, Widiyanto	Superabsorben Hasil Pencangkokan dan Penautan Silang Fraksi Onggok dengan Akrilamida	763-773
21	Ricson Pemimpin Hutagaol, S.Si., M.Si; Asteria Aviana dan Betalini Widhi Hapsari, SP., M.Si	Regenerasi secara <i>invitro</i> dengan perlakuan sitokinin dan uji fitokimia <i>tacca leontopetaloides</i>	774-783
22	Darwati, Anni Anggraeni, dan Sri Adi Sumiwi	Uji toksisitas akut dari ekstrak etanol kukit batang ,buah, dan kulit akar asam kandis (<i>garcinia cowa roxb.</i>)	784-792
23	Dwi Sandri, Fatimah, Jaka Darma Jaya	Verifikasi Residu Pestisida dan Profil Bakteri yang Berpotensi Mendegradasi Pestisida di Lahan Pertanian Jagung Kecamatan Kurau, Kabupaten Tanah Laut.	793-801
24	Edy Chandra	Filosofi Zat Dan Materi Menurut Jabir Bin Hayyan (Aspek Kimiawi Dari Studi Filosofis Terhadap Naskah <i>Mukhtâr Rasâ`Il</i>)	802-821

Bidang : Biokimia			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Florentina Maria Titin Supriyanti, Adhytia Ichsan Rachmawan	Fortifikasi Protein Dari Kacang Hijau (<i>Vigna Radiata</i>) Pada Produksi Sereal Berbahan Baku Ubi Jalar (<i>Ipomoea Batatas</i>) dan Analisis Kandungan Gizinya	825-833
2	Waras Nurcholis, Hilmanie Ramadhan, Anna P Roswiem	Analisis Inhibisi Enzim α -glukosidase dan Sitotoksitas Ekstrak Air-Etanol Benalu Jeruk (<i>Loranthus</i> sp.)	834-838
3	Sulistiyani, Esti Sahifah, Shelly Rahmania, Husnawati	Studi <i>in vivo</i> khasiat antiinflamasi ekstrak herba suruhan (<i>peperomia pellucida</i> [1]) dan campurannya dengan jahe merah (<i>ZINGIBER OFFICINALE</i> ROSC.)	839-847

<i>POSTER Bidang Kimia</i>			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Nurul Ichsan, Eti Rohaeti , Rudi Heryanto	Destruksi Unsur Tanah Jarang dari Limbah Pengolahan Timah Menggunakan Mikrowave Sederhana	851-859
2	Nadya Ayu Denitasari, Armi Wulanawati, Henny Perwaningsih	Briket Ampas Sagu Sebagai Bahan Bakar Alternatif	860-875
3	Upik Kesumawati, Dyah Iswantini, Min Rahminiwati, Rosihan Rosman, Agus Sudiman T	Budidaya dan Formulasi Kamandrah (<i>Croton tiglium</i> L.) Sebagai Larvasida Hayati Pencegah Demam Berdarah Dengue	876-883
4	Betty Marita Soebrata, S Mulijani, Charisna Desita Shinta Sani	<i>Nata de Cassava</i> Dari Limbah Cair Tapioka Sebagai Membran Selulosa Asetat	884-893
5	Ahmad Sjahriza, Sri Sugiarti, Niken Pratiwi	Ekstraksi Karaginan dari Rumput Laut <i>Eucheuma cottonii</i> Menggunakan Dua Metode Ekstraksi	894-905

Statistika

**PENERAPAN FUZZY C-REGRESSION
DALAM PENDUGAAN MODEL NILAI TANAH
(Studi Kasus : Lima Kecamatan di Kota Bekasi)**

**Andzar Syafa'atur Rahman¹, Hari Wijayanto¹, Noer Azam Achsani², La Ode
Abdul Rahman¹**

¹Departemen Statistika, FMIPA IPB, Bogor

²Departemen Ilmu Ekonomi, FEM IPB, Bogor

E-mail: andzar16@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan akan informasi nilai tanah untuk penetapan Pajak Bumi dan Bangunan serta penentuan ganti rugi pengadaan tanah saat ini tersedia pada Peta Zona Nilai Tanah (ZNT). Poligon dari kumpulan bidang tanah dengan peruntukan tanah yang relatif sama disajikan dalam satu nilai oleh Peta ZNT. Kebutuhan akan informasi nilai tanah untuk setiap bidang tanah tidak dapat diperoleh dari Peta ZNT. Informasi ini dapat diperoleh dengan menduga model antara nilai tanah dengan peubah-peubah yang mempengaruhi nilai tanah. Analisis Regresi Linear Berganda (ARLB) merupakan metode yang umum digunakan dalam pendugaan model nilai tanah. *Fuzzy c-Regression* (FCR) adalah metode pendugaan model yang mengkombinasikan ARLB dengan Analisis Gerombol *Fuzzy*. Analisis Gerombol *Fuzzy* yang diterapkan dalam penelitian ini adalah *Fuzzy c-Means* dan *Fuzzy c-Medoids*. FCR mampu menghasilkan dugaan model nilai tanah dengan tingkat akurasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan dugaan model nilai tanah hasil ARLB. Model FCR menghasilkan model yang lebih baik dari ARLB mulai dari jumlah gerombol 2 sampai jumlah gerombol 10. Peubah penjelas yang memberikan pengaruh paling besar terhadap nilai tanah adalah Kelas Jalan sedangkan peubah penjelas yang memberikan pengaruh paling kecil terhadap nilai tanah adalah Peruntukan Lahan.

Kata kunci: *Fuzzy c-Regression, Fuzzy c-Means, Fuzzy c-Medoids*, nilai tanah

1 PENDAHULUAN

Informasi mengenai nilai tanah memiliki peranan penting dalam beberapa kegiatan seperti penetapan Pajak Bumi dan Bangunan dan penentuan nilai ganti rugi pengadaan tanah. Peta Zona Nilai Tanah (ZNT) adalah peta yang memberikan informasi mengenai nilai tanah di suatu wilayah. Poligon dari kumpulan bidang tanah dengan peruntukan tanah yang relatif sama disajikan dalam satu nilai tanah oleh Peta ZNT. Kebutuhan informasi mengenai nilai tanah untuk setiap bidang tanah tidak dapat diperoleh dari Peta ZNT. Informasi ini dapat diperoleh dengan cara menduga model antara nilai tanah dengan peubah-peubah yang mempengaruhi nilai tanah.

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam menduga model nilai tanah adalah Analisis Regresi Linear Berganda (ARLB). Penelitian yang menerapkan ARLB [1, 2] dalam

menduga model nilai tanah diantaranya ialah pendugaan model nilai tanah untuk enam kecamatan di Kota Semarang oleh Sutawijaya pada tahun 2004 dan pendugaan model nilai tanah untuk lima wilayah di Republik Ceko oleh Medonos, Vilhelm, Hruska, dan Jelinek pada tahun 2011.

Metode ARLB terus berkembang. Salah satu pengembangan dari ARLB adalah *Fuzzy c-Regression* (FCR). FCR pertama kali diperkenalkan oleh Hathaway dan Bezdek [3, 4] pada tahun 1993. FCR merupakan metode pendugaan model yang mengkombinasikan Analisis Gerombol *Fuzzy* dengan ARLB. FCR menggunakan Analisis Gerombol *Fuzzy* untuk memperoleh derajat keanggotaan masing-masing amatan untuk setiap gerombol kemudian menggunakan derajat keanggotaan tersebut sebagai pembobot dalam pendugaan model. Pendugaan model dalam FCR dilakukan dengan ARLB untuk setiap gerombol hasil Analisis Gerombol. Penduga parameter dalam model FCR adalah

$$\hat{\beta}_k = \left(\mathbf{X}' (\mathbf{U}_k)^b \mathbf{X} \right)^{-1} \mathbf{X}' (\mathbf{U}_k)^b \mathbf{y}$$

dengan $\hat{\beta}_k$ adalah vektor penduga parameter regresi untuk gerombol ke- k . \mathbf{X} dan \mathbf{y} masing-masing menyatakan matriks yang berisi peubah penjelas dan vektor yang berisi peubah respon. \mathbf{U}_k adalah matriks diagonal derajat keanggotaan setiap amatan pada gerombol ke- k .

Fuzzy c-Means (FCM) dan *Fuzzy c-Medoids* (FCMd) merupakan metode Analisis Gerombol *Fuzzy* yang diterapkan dalam penelitian ini. FCM [5] diterapkan untuk menggerombolkan data dengan skala pengukuran rasio dan interval sedangkan FCMd [6] diterapkan untuk data dengan skala pengukuran ordinal dan nominal.

Kebaikan suatu dugaan model yang dihasilkan dapat dilihat dari dua indikator [7], yaitu *Root Mean Square Error* (RMSE) dan koefisien kemiringan regresi antara dugaan peubah respon dengan peubah respon (KKR). Semakin kecil RMSE suatu model maka semakin baik model tersebut. Semakin mendekati 1 nilai KKR suatu model maka model tersebut semakin baik. Kedua indikator ini digunakan untuk melihat perbedaan kebaikan dugaan model yang dihasilkan dengan FCR dan ARLB.

Tujuan penelitian ini adalah menduga model nilai tanah pada lima kecamatan di Kota Bekasi menggunakan FCR dan ARLB serta menentukan peubah penjelas yang memiliki pengaruh paling besar dan paling kecil terhadap peubah respon (nilai tanah).

2 METODE PENELITIAN

2.1 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data hasil survei Direktorat Survei Potensi Tanah, Badan Pertanahan Republik Indonesia (Dit. SPT). Data ini mencakup lima kecamatan di Kota Bekasi, yaitu Pondok Gede, Rawa Lumbu, Bekasi Timur, Bekasi Selatan, dan Bekasi Barat. Metode penarikan contoh dalam survei ini adalah penarikan contoh strata. Strata ini dibentuk berdasarkan peruntukan lahan. Peruntukan lahan yang relatif sama dibentuk ke dalam satu strata yang disebut sebagai zona. Setiap zona akan diambil amatan dengan jumlah minimal 3 untuk zona dengan luas di atas peta kurang dari 100 cm². Zona dengan luas di atas peta lebih dari 100 cm² diambil amatan dengan jumlah minimal 5 dan jumlah amatan ditambah 2 setiap ada peningkatan luas zona dengan kelipatan 100 cm². Amatan ini diperoleh dengan cara wawancara langsung terhadap responden. Responden dalam survei ini adalah pihak yang dapat memberikan gambaran dan keterangan mengenai informasi harga tanah baik harga jual beli maupun harga sewa. Total data dalam penelitian ini adalah 891 dengan peubah respon nilai tanah. Peubah penjelas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Peubah penjelas

Peubah Penjelas	Skala Pengukuran	Peubah Penjelas	Skala Pengukuran
Lebar Jalan	Rasio	Telepon	Nominal
Elevasi dari Jalan	Ordinal	Gas	Nominal
Kelas Jalan	Ordinal	TV Kabel	Nominal
Aksesibilitas	Ordinal	Sekolah	Nominal
Drainase	Ordinal	Tempat Ibadah	Nominal
Bentuk Tanah	Nominal	Rumah Sakit	Nominal
Letak Tanah	Nominal	Pasar	Nominal
Air Bersih	Nominal	Peruntukan Lahan	Ordinal

2.2 Metode Analisis

Tahapan analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan eksplorasi data.

2. Menggerombolkan data berdasarkan peubah penjelas menggunakan metode FCM dan FCMd kemudian mendeskripsikan karakteristik gerombol yang dihasilkan.
3. Menduga model nilai tanah dengan ARLB.
4. Menduga model nilai tanah dengan FCR.
5. Menduga nilai tanah

5.1 Model ARLB

Menduga nilai tanah berdasarkan model yang dihasilkan pada langkah ke-3.

5.2 Model FCR

Menduga nilai tanah berdasarkan model setiap gerombol yang dihasilkan pada langkah ke-4. Setiap dugaan nilai tanah selanjutnya diboboti dengan derajat keanggotaan amatan terhadap setiap gerombol untuk memperoleh satu nilai tanah untuk setiap amatan. Hal ini ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\hat{y}_i = \mu_{i1}\hat{y}_{i1} + \dots + \mu_{ji}\hat{y}_{ji} + \dots + \mu_{mi}\hat{y}_{mi}$$

dengan m adalah jumlah gerombol. \hat{y}_i adalah dugaan nilai tanah amatan ke- i ,

sedangkan \hat{y}_{ji} adalah dugaan nilai tana amatan ke- i dalam gerombol ke- j . μ_{ji} adalah

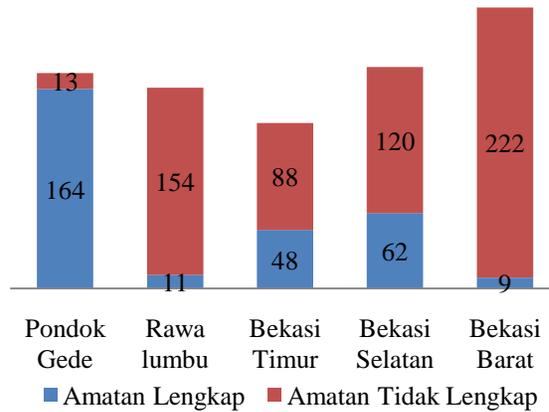
derajat keanggotaan amatan ke- i dalam gerombol ke- j .

6. Menghitung RMSE dan KKR untuk model ARLB dan FCM.
7. Menentukan peubah penjelas yang memiliki pengaruh paling besar dan paling kecil terhadap nilai tanah.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Eksplorasi Data

Eksplorasi data diawali dengan melihat keberadaan data hilang. Berdasarkan 891 data dengan 17 peubah, terdapat 597 amatan yang tidak lengkap. Mayoritas amatan tidak lengkap ini disebabkan oleh tidak tercatatnya peubah penjelas (karakteristik tanah). Amatan tidak lengkap paling banyak terjadi pada data Kecamatan Bekasi Barat sedangkan amatan tidak lengkap paling sedikit terjadi pada Kecamatan Pondok Gede (Gambar 1).



Gambar 1 Kondisi pada lima kecamatan di Kota Bekasi

Total amatan lengkap adalah 294. Amatan lengkap ini tidak bisa mewakili karakteristik dan nilai tanah pada lima kecamatan karena amatan lengkap ini tidak mencakup amatan dengan kategori peruntukan lahan pertanian. Oleh karena itu, seleksi terhadap peubah penjelas dilakukan untuk memperoleh amatan yang dapat mewakili karakteristik dan nilai tanah pada lima kecamatan. Korelasi Pearson digunakan untuk melihat kekuatan hubungan antara Lebar Jalan dengan nilai tanah sedangkan uji-F digunakan untuk melihat keragaman nilai tanah yang dapat dijelaskan oleh setiap peubah penjelas dengan skala pengukuran ordinal dan nominal. Kombinasi peubah penjelas yang diperoleh adalah Kelas Jalan, Aksesibilitas, Drainase, dan Peruntukan Lahan dengan total amatan 678. Keempat peubah penjelas ini selanjutnya digunakan dalam penelitian ini karena keempat peubah penjelas ini sudah dapat mewakili karakteristik dan nilai tanah pada lima kecamatan.

Nilai tanah terendah berada di Kecamatan Rawa Lumbu dengan nilai tanah Rp 226,356 per m². Tanah ini memiliki karakteristik kelas jalan lokal, aksesibilitas dan drainase kurang, dan peruntukan lahan permukiman. Nilai tanah tertinggi berada di Kecamatan Bekasi Selatan dengan nilai tanah Rp 4,442,720 per m². Tanah ini memiliki karakteristik kelas jalan kolektor, aksesibilitas sangat baik, drainase baik, dan peruntukan lahan komersial. Rata-rata nilai tanah di lima kecamatan dalam penelitian sebesar Rp 1,788,477 per m².

3.2 Penggerombolan Data dan Deskripsi Hasil Penggerombolan

Penggerombolan data dilakukan dengan dua metode, yaitu FCM dan FCMD. Jumlah gerombol yang menjadi fokus dalam penelitian adalah 8. Hal ini didasarkan pada pembagian

kelompok nilai tanah dalam Peta Zona Nilai Tanah oleh Dit. SPT. Jumlah gerombol 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, dan 10 juga digunakan dalam penelitian ini untuk melihat pengaruh jumlah gerombol dalam pemodelan nilai tanah dengan metode FCR. Karakteristik gerombol yang dihasilkan dengan FCM dan FCMd relatif sama untuk jumlah gerombol 8. Berikut adalah deskripsi karakteristik setiap gerombol:

1. Gerombol 1 merupakan gerombol dengan peruntukan lahan permukiman. Lahan permukiman ini berada pada kelas jalan lokal dengan aksesibilitas cukup. Hal ini berarti untuk mendapatkan transportasi umum terdekat diperlukan waktu tempuh dengan berjalan kaki kurang dari 30 menit. Lahan permukiman ini memiliki drainase cukup yang berarti bahwa dalam waktu kurang dari lima tahun terakhir pernah terjadi banjir.
2. Gerombol 2 merupakan gerombol dengan peruntukan lahan permukiman. Lahan permukiman pada Gerombol 2 ditunjang dengan aksesibilitas sangat baik. Hal ini menunjukkan bahwa warga yang tinggal di lahan permukiman ini dapat memperoleh transportasi umum terdekat dalam waktu kurang dari lima menit dengan berjalan kaki.
3. Gerombol 3 merupakan gerombol dengan peruntukan lahan permukiman yang berada pada kelas jalan kolektor. Lahan permukiman ini memiliki drainase yang baik. Hal ini berarti dalam waktu sepuluh tahun terakhir tidak pernah terjadi banjir pada permukiman tersebut.
4. Gerombol 4 merupakan gerombol dengan peruntukan lahan permukiman. Lahan permukiman ini dapat dikatakan sebagai lahan permukiman yang rawan banjir karena mayoritas amatan pada Gerombol 4 merupakan permukiman dengan kualitas drainase cukup dan kurang. Gerombol 4 merupakan gerombol dengan rata-rata nilai tanah terendah.
5. Gerombol 5 memiliki karakteristik yang relatif sama dengan Gerombol 1 jika dilihat dari kelas jalan dan peruntukan lahan, tetapi Gerombol 5 dan Gerombol 1 berbeda pada aksesibilitas dan drainase. Secara umum Gerombol 5 memiliki aksesibilitas dan drainase yang lebih baik dibandingkan dengan Gerombol 1. Hal ini menunjukkan bahwa amatan pada Gerombol 5 memiliki waktu yang lebih singkat untuk memperoleh transportasi umum terdekat dengan berjalan kaki. Selain itu permukiman pada Gerombol 5 juga lebih aman dari banjir.

6. Gerombol 6 memiliki karakteristik yang relatif sama dengan Gerombol 1. Perbedaan kedua gerombol terletak pada aksesibilitas. Aksesibilitas pada Gerombol 6 lebih baik daripada Gerombol 1. Hal ini menunjukkan bahwa amatan pada Gerombol 6 memiliki waktu yang lebih singkat untuk memperoleh transportasi umum terdekat dengan berjalan kaki.
7. Gerombol 7 merupakan gerombol dengan peruntukan lahan komersial. Lahan komersial pada lima kecamatan di Kota Bekasi ini berada pada kelas jalan arteri dan kolektor. Selain itu lahan komersial ini juga didukung dengan aksesibilitas yang sangat baik dan drainase yang baik. Gerombol 7 merupakan gerombol dengan rata-rata nilai tanah tertinggi.
8. Gerombol 8 merupakan gerombol amatan dengan peruntukan lahan pertanian. Lahan pertanian pada lima kecamatan di Kota Bekasi memiliki aksesibilitas dan drainase yang baik. Lahan pertanian ini berada di kelas jalan lokal.

3.3 Pendugaan Model dan Perbandingan Indikator Kebaikan Model

Pendugaan model nilai tanah pertama dilakukan dengan metode ARLB dan model nilai tanah kedua dengan metode FCR. Analisis Gerombol *Fuzzy* dalam penelitian ini, yaitu FCM dan FCMd akan digunakan dalam proses pendugaan model dengan metode FCR. Jumlah gerombol yang akan digunakan dalam pendugaan model dengan metode FCR adalah 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10.

Hasil dugaan model FCR menggunakan FCM (FCR-FCM) memberikan tingkat akurasi prediksi nilai tanah yang lebih baik jika dibandingkan dengan dugaan model Analisis Regresi Linear Berganda (ARLB). Hal ini ditunjukkan oleh indikator kebaikan model yaitu RMSE dan koefisien kemiringan regresi antara nilai tanah dan dugaan nilai tanah (KKR). Nilai RMSE hasil dugaan model FCR-FCM lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai RMSE hasil dugaan model ARLB. Nilai RMSE hasil dugaan model FCR-FCM terus menurun mulai dari jumlah gerombol 2 sampai jumlah geombol 10. KKR hasil dugaan model FCR-FCM pada jumlah gerombol 3 sampai jumlah gerombol 10 lebih mendekati 1 jika dibandingkan nilai KKR hasil ARLB. Nilai KKR untuk dugaan model FCR-FCM ketika jumlah gerombol 2 lebih rendah daripada nilai KKR untuk model ARLB tetapi perbedaannya tidak signifikan, yaitu sebesar 6×10^{-5} (Tabel 3).

Hasil dugaan model FCR menggunakan FCMd (FCR-FCMd) memberikan tingkat akurasi prediksi nilai tanah yang lebih baik jika dibandingkan dengan dugaan model ARLB. Nilai RMSE hasil dugaan model FCR-FCMd lebih rendah dibandingkan dengan nilai RMSE hasil dugaan model ARLB. Nilai RMSE hasil dugaan model FCR-FCMd terus menurun mulai dari jumlah gerombol 2 sampai jumlah gerombol 10. Nilai KKR hasil dugaan model FCR-FCMd pada jumlah gerombol 2 sampai jumlah gerombol 10 lebih mendekati 1 jika dibandingkan nilai KKR hasil ARLB (Tabel 3).

Tingkat akurasi prediksi nilai tanah dari dugaan model FCR-FCM memberikan hasil yang relatif sama dibandingkan dengan dugaan model FCR-FCMd. Hal ini dapat dilihat dari nilai RMSE dugaan model FCR-FCM yang tidak berbeda nyata dibandingkan dengan nilai RMSE dugaan model FCR-FCMd. Nilai KKR dugaan model FCR-FCM cenderung untuk semakin mendekati 1 ketika ada peningkatan jumlah gerombol, begitu juga dengan nilai KKR dugaan model FCR-FCMd (Tabel 3).

Tabel 3 Indikator kebaikan model ARLB dan FCR

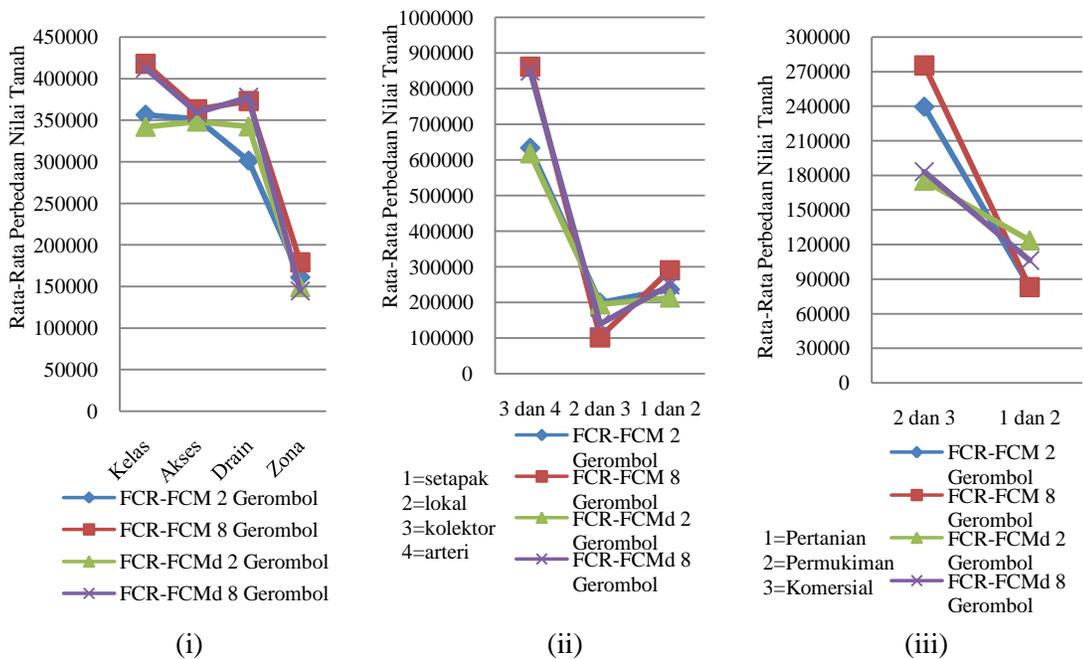
Model	RMSE	KKR	Model	RMSE	KKR
ARLB	678,289.09	0.88416	ARLB	678,289.09	0.88416
FCR-FCM 2 Gerombol	664,525.16	0.88410	FCR-FCMd 2 Gerombol	664,157.19	0.88705
FCR-FCM 3 Gerombol	661,844.62	0.88745	FCR-FCMd 3 Gerombol	662,701.56	0.88711
FCR-FCM 4 Gerombol	661,030.77	0.88845	FCR-FCMd 4 Gerombol	660,942.84	0.88987
FCR-FCM 5 Gerombol	659,751.67	0.88954	FCR-FCMd 5 Gerombol	660,346.24	0.89057
FCR-FCM 6 Gerombol	658,719.76	0.88962	FCR-FCMd 6 Gerombol	659,277.13	0.89039
FCR-FCM 7 Gerombol	657,481.97	0.89046	FCR-FCMd 7 Gerombol	658,036.66	0.89114
FCR-FCM 8 Gerombol	656,513.49	0.89069	FCR-FCMd 8 Gerombol	657,091.46	0.89093
FCR-FCM 9 Gerombol	655,948.07	0.89142	FCR-FCMd 9 Gerombol	656,139.27	0.89180
FCR-FCM 10 Gerombol	652,285.96	0.89223	FCR-FCMd 10 Gerombol	652,711.63	0.89291

3.4 Pengaruh Setiap Peubah Penjelas Terhadap Nilai Tanah

Penentuan peubah penjelas yang memiliki pengaruh paling besar dan paling kecil terhadap nilai tanah dilakukan dengan simulasi pembangkitan data untuk semua kemungkinan kombinasi peubah penjelas. Peubah penjelas yang memiliki pengaruh paling besar adalah peubah penjelas yang menghasilkan rata-rata perbedaan nilai tanah paling besar ketika terjadi perubahan satu satuan pada peubah tersebut dengan kondisi peubah lain tetap.

Sedangkan peubah penjelas yang memiliki pengaruh paling kecil adalah peubah penjelas yang menghasilkan rata-rata perbedaan nilai tanah paling kecil ketika terjadi perubahan satu satuan pada peubah tersebut dengan kondisi peubah lain tetap. Peubah Kelas Jalan (Kelas), Aksesibilitas (Akses), dan Drainase (Drain) memiliki 4 kategori dan Peubah Peruntukan Lahan (Zona) memiliki 3 kategori sehingga total ada 192 semua kemungkinan kombinasi.

Peubah penjelas yang memiliki pengaruh paling besar terhadap nilai tanah adalah peubah Kelas sedangkan peubah penjelas yang memiliki pengaruh paling kecil terhadap nilai tanah adalah peubah Zona (Gambar 4 (i)). Rata-rata perbedaan nilai tanah terbesar untuk peubah Kelas terjadi ketika suatu amatan hanya memiliki perbedaan karakteristik pada kategori Arteri dengan kategori Kolektor sedangkan rata-rata perbedaan nilai tanah terkecil untuk peubah Kelas terjadi ketika suatu amatan hanya memiliki perbedaan karakteristik kategori Kolektor dengan kategori Lokal (Gambar 4(ii)). Rata-rata perbedaan nilai tanah terbesar untuk peubah Zona terjadi ketika suatu amatan hanya memiliki perbedaan pada kategori Komersial dengan kategori Permukiman sedangkan rata-rata perbedaan nilai tanah terkecil untuk peubah Zona terjadi ketika suatu amatan hanya memiliki perbedaan pada kategori Permukiman dengan kategori Pertanian (Gambar 4 (iii)).



Gambar 4 Pengaruh peubah penjelas

4 KESIMPULAN

FCR mampu menghasilkan model dugaan nilai tanah dengan tingkat akurasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan ARLB. Pendugaan model nilai tanah pada lima kecamatan di Kota Bekasi dengan FCR dapat dilakukan dengan jumlah gerombol 2. Jumlah gerombol 8 yang digunakan oleh Direktorat Survei Potensi Tanah juga dapat digunakan dalam pendugaan model nilai tanah pada lima kecamatan ini karena mampu memberikan akurasi yang semakin baik. Kelas Jalan merupakan peubah penjelas yang memiliki pengaruh paling besar terhadap nilai tanah, sedangkan Peruntukan Lahan merupakan peubah penjelas yang memiliki pengaruh paling kecil terhadap nilai tanah pada lima kecamatan di Kota Bekasi.

PUSTAKA

- [1] Sutawijaya A. 2004. Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi nilai tanah sebagai dasar penilaian nilai jual obyek pajak (njop) pbb di kota semarang. *Jurnal Ekonomi Pembangunan* 9(1): 65-78.
- [2] Medonos T, Vilhelm V, Hruska M, Jelinek. 2011. What Determines the Czech Land Market Prices? Some Regional Findings. *AGRIS On-line Papers in Economics and Informatics* 3(4): 41-53.
- [3] Kruse R, Doring C, Lesot MJ. 2007. Fundamentals of fuzzy clustering. Di dalam: Oliveira JV, Pedrycz W, editor, *Advances in Fuzzy Clustering and its Applications*. Chicester: John Wiley & Sons, Ltd. hlm 3-30.
- [4] Ilic MS. 2007. Fundamentals of fuzzy clustering. Di dalam: Oliveira JV, Pedrycz W, editor. *Advances in Fuzzy Clustering and its Applications*. Chicester: John Wiley & Sons, Ltd. hlm 229-246.
- [5] Cherkassky V, Mulier F. 1998. *Learning From Data: Concepts, Theory, and Methods*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Saha I, Mukhopadhyay A. 2008. Improved crisp and fuzzy clustering techniques for categorical data. *IAENG International Journal of Computer Science* 35(4).
- [7] Yalpir S, Ozkan G. 2011. Fuzzy logic methodology and multiple regressions for residential real-estatesvaluation in urban areas. *Scientific Research and Essays* 6(12): 2431-2436.

**PENERAPAN FUNGSI DISKRIMINAN DALAM DETEKSI DINI
PENENTUAN STATUS MASTITIS SUBKLINIS PADA SAPI PERAH
(Studi Kasus : Kawasan Usaha Ternak Cibungbulang, Kabupaten Bogor Tahun
2010-2011)**

I Dewa Gede Richard Alan Amory¹, Muhammad Nur Aidi¹, Etih Sudarnika²

¹Departemen Statistika - FMIPA IPB, Bogor

²Departemen Penyakit Hewan dan Kesehatan Masyarakat Veteriner - FKH IPB, Bogor
richardalanamory@gmail.com

ABSTRAK

Analisis diskriminan merupakan salah satu teknik analisis peubah ganda yang dipergunakan untuk mengelompokkan individu atau objek ke dalam suatu kelompok berdasarkan sekumpulan peubah-peubah. Mastitis merupakan masalah utama dalam tata laksana usaha peternakan sapi perah karena dapat menurunkan produksi susu dalam jumlah besar. Tindakan pencegahan dapat dilakukan dengan menggunakan teknik deteksi mastitis dini, terutama untuk penyakit mastitis subklinis. Pendugaan kejadian mastitis subklinis dapat dilakukan dengan melihat komposisi sel somatik pada masa awal laktasi (masa kolostrum). Sehingga pendugaan tersebut diharapkan dapat memprediksi kemungkinan kejadian mastitis subklinis dengan perbandingan gambaran secara umum sel somatik pada masa laktasi normal. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pendugaan model pendeteksian dini mastitis subklinis pada sapi perah berdasarkan komposisi sel somatik pada masa kolostrum dengan menggunakan analisis diskriminan dan memilih fungsi diskriminan terbaik dengan metode diskriminan bertatar. Berdasarkan hasil pengolahan data, diperoleh model pendeteksian dini mastitis subklinis pada sapi perah berdasarkan komposisi sel somatik pada masa kolostrum ialah fungsi diskriminan awal dengan nilai sensitivitas dan spesifisitas masing-masing bernilai 97.5% dan 100%. Peubah persentase komposisi kandungan sel limfosit pada masa kolostrum hari keenam merupakan sel somatik terbaik dalam mendiagnosa deteksi dini status mastitis subklinis pada sapi perah dengan nilai sensitivitas dan spesifisitas masing-masing sebesar 80% dan 100%.

Katakunci : analisis diskriminan, mastitis subklinis, sel somatik

1 PENDAHULUAN

Radang ambing pada sapi perah merupakan radang yang bisa bersifat akut, subakut maupun kronis, yang ditandai oleh kenaikan sel somatis di dalam air susu, perubahan fisik berupa peradangan serta pembengkakan ambing sapi, serta perubahan susunan air susu dan disertai atau tanpa disertai patologis pada kelenjar *mammae* [1]. *Staphylococcus aureus* dan *Streptococcus agalactiae* merupakan bakteri penyebab utama mastitis pada sapi perah. Mastitis tetap menjadi masalah utama dalam tata laksana usaha peternakan sapi perah karena

dapat menurunkan produksi susu per kuartir per hari antara 9-45.5% [2]. Pengobatan secara tuntas sulit dilaksanakan dan memerlukan biaya besar. Tindakan pencegahan dapat dilakukan dengan menggunakan teknik deteksi dini terhadap penyakit mastitis, terutama untuk penyakit mastitis subklinis, yaitu mastitis yang tidak disertai gejala klinis pada ambung dan perubahan fisik susu yang dihasilkannya. Kerugian yang diakibatkan perubahan fisik susu ialah penurunan kualitas susu yang mengakibatkan penolakan susu mencapai 30-40% sehingga berpengaruh terhadap kualitas produk olahannya, seperti : keju [2].

Pendugaan kejadian mastitis subklinis dapat dilakukan dengan melihat komposisi sel somatik pada masa awal laktasi. Pendugaan tersebut diharapkan dapat memprediksi kemungkinan kejadian mastitis subklinis dengan perbandingan gambaran secara umum sel somatik pada masa laktasi normal. Pada masa laktasi normal sapi perah yang mengalami mastitis subklinis memiliki jumlah sel somatik yang lebih tinggi, dengan jumlah sel somatik > 400.000 sel somatik/ml [3].

Klasifikasi status mastitis subklinis pada sapi perah dalam penelitian ini menggunakan penerapan analisis diskriminan. Analisis diskriminan merupakan salah satu teknik analisis peubah ganda yang dipergunakan untuk mengelompokkan individu atau objek ke dalam suatu kelompok berdasarkan sekumpulan peubah-peubah [4]. Berdasarkan hasil pengelompokan diperoleh suatu fungsi pembeda yang dapat memisahkan kedua kelompok status mastitis subklinis pada sapi perah berdasarkan komposisi sel somatik dalam masa kolostrum, serta menunjukkan faktor apa saja yang membedakan status mastitis subklinis positif atau negatif. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pendugaan model pendeteksian dini mastitis subklinis pada sapi perah berdasarkan komposisi sel somatik pada masa kolostrum dengan menggunakan analisis diskriminan, memilih fungsi diskriminan terbaik dengan metode diskriminan bertatar, serta menentukan jenis sel somatik dan waktu pendeteksian yang paling efektif dalam pendugaan model tersebut.

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang bersumber dari penelitian Maya Masita Novianti dalam tesis *Pendugaan Mastitis Subklinis pada Sapi Perah Berdasarkan Komposisi Sel Somatik dalam Masa Kolostrum*. Penelitian tersebut

dilaksanakan pada bulan Agustus 2010 sampai Maret 2011 di Kawasan Usaha Ternak Cibungbulang, Kabupaten Bogor. Sampel susu diambil dari sapi yang berada pada masa kolostrum sebanyak 12 ekor. Pada setiap sapi memiliki jumlah kuartir setiap sapi 3-4 kuartir, sehingga total amatan ambung terdiri dari 46 ambung. Sampel susu diambil dari pemerahan pagi hari selama masa kolostrum sampai kolostrum tidak dihasilkan, rata-rata masa kolostrum pada sapi berlangsung 6-8 hari. Dalam penelitian ini, data diperoleh dari pengamatan analisis komposisi sel somatik pada kolostrum. Sampel yang dilakukan analisis komposisi sel somatiknya menggunakan metode perhitungan komposisi jumlah sel somatik. Peubah-peubah penjelas yang diamati dalam penelitian ini ialah komposisi kandungan sel somatik pada susu sapi perah, yaitu sel limfosit, sel monosit, dan sel neutrofil secara rinci dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1 Keterangan peubah

Peubah	Keterangan
L_i	Persentase komposisi kandungan sel limfosit pada masa kolostrum hari ke- i
M_i	Persentase komposisi kandungan sel monosit pada masa kolostrum hari ke- i
N_i	Persentase komposisi kandungan sel neutrofil pada masa kolostrum hari ke- i

Keterangan : $i = 1, 2, \dots, 8$

Tahapan selanjutnya, dengan menggunakan sampel susu dari sapi yang sama pada tahapan sebelumnya. Susu dari sapi yang diambil sampelnya pada masa kolostrum diambil kembali pada waktu laktasi normal yaitu sekitar 90 hari setelah melahirkan. Sampel dianalisis dengan menghitung jumlah sel somatik. Hal ini, bertujuan untuk mengetahui status mastitis subklinis positif atau negatif. Pemeriksaan jumlah sel somatik dilakukan dengan metode Breed [2].

2.2 Metode Analisis Data

Data dianalisis dengan tahapan sebagai berikut :

1. Melakukan eksplorasi data dengan menggunakan statistika deskriptif terhadap seluruh peubah.
2. Melakukan pengujian kenormalan ganda dengan menggunakan plot nilai khi-kuadrat dengan jarak mahalnobis.

3. Melakukan pengujian kehomogenan ragam dengan menggunakan uji Box's M . Fungsi diskriminan linear digunakan apabila matriks ragam-peragam homogen, sebaliknya pada saat matriks ragam-peragam tidak homogen digunakan fungsi diskriminan kuadratik.
4. Melakukan pengujian kesamaan vektor rata-rata untuk melihat peubah-peubah yang secara signifikan mempengaruhi pembentukan fungsi diskriminan.
5. Melakukan pengklasifikasian status mastitis subklinis pada sapi perah berdasarkan komposisi sel somatik dalam masa kolostrum dengan menggunakan analisis diskriminan dari peubah-peubah yang signifikan mempengaruhi pembentukan fungsi diskriminan.
6. Melakukan validasi fungsi diskriminan awal dengan menggunakan seluruh pengamatan, serta menghitung tingkat kesalahan klasifikasi dengan menggunakan nilai APER.
7. Melakukan akurasi fungsi diskriminan awal dengan menggunakan sebagian pengamatan, serta menghitung tingkat kesalahan klasifikasi dengan menggunakan nilai APER.
8. Melakukan analisis diskriminan bertatar untuk menentukan peubah-peubah yang paling berperan dalam pembentukan fungsi pembeda serta menghitung kembali fungsi diskriminan berdasarkan peubah-peubah yang diperoleh.
9. Melakukan validasi dan akurasi untuk fungsi diskriminan bertatar.
10. Menentukan nilai pembatas untuk peubah-peubah yang mampu mendiskriminasi status mastitis subklinis pada sapi perah.

3 HASIL PENELITIAN

3.1 Eksplorasi Data

Gambaran secara keseluruhan persentase status mastitis subklinis menunjukkan persentase mastitis subklinis dengan status positif sebesar 87% dan status negatif sebesar 13%. Tingginya persentase status positif mastitis subklinis pada penelitian ini disebabkan masih tingginya kasus kejadian mastitis subklinis dari seluruh kejadian mastitis, yaitu sebesar 97% [2]. Hasil eksplorasi data menunjukkan adanya peubah yang memiliki data hilang, yaitu persentase komposisi kandungan sel somatik pada hari ketujuh dan kedelapan. Hal ini,

disebabkan masa kolostrum sapi perah yang berbeda-beda. Penelitian ini melakukan pencatatan masa kolostrum selama delapan hari berdasarkan rata-rata masa kolostrum sapi perah pada penelitian sebelumnya. Pendugaan data hilang tidak dilakukan pada penelitian ini, disebabkan kondisi sapi perah yang memiliki masa kolostrum tidak lengkap tidak dapat direpresentasikan oleh sapi perah dengan masa kolostrum lengkap. Sehingga peubah persentase komposisi kandungan sel somatik pada hari ketujuh dan kedelapan tidak dimasukkan dalam pembentukan fungsi diskriminan.

3.2 Pengujian Asumsi Analisis Diskriminan

Plot nilai khi-kuadrat dengan jarak mahalanobis digunakan dalam mengevaluasi asumsi kenormalan ganda yang dibutuhkan dalam analisis diskriminan. Plot nilai khi-kuadrat dengan jarak mahalanobis setiap status mastitis subklinis memperlihatkan pola mendekati garis lurus. Hal ini menunjukkan peubah masing-masing status mastitis subklinis mengikuti sebaran normal ganda. Nilai korelasi antara jarak mahalanobis dengan khi-kuadrat pada status negatif dan positif masing-masing bernilai 0.984 dan 0.973. Uji kehomogenan matriks peragam diperlukan dalam penentuan fungsi diskriminan yang digunakan. Jika matriks peragam homogen maka yang digunakan adalah fungsi diskriminan linear, sebaliknya fungsi diskriminan kuadratik digunakan ketika matriks peragam tidak homogen. Hasil pengujian kehomogenan matriks peragam dengan menggunakan uji *Box's M* sebesar 0.798 dengan nilai signifikansi 0.878. Nilai signifikansi lebih besar dari 0.05 maka Terima H_0 artinya matriks peragam bersifat homogen. Dengan demikian, disimpulkan bahwa asumsi kenormalan ganda dan asumsi kehomogenan matriks peragam dalam penggunaan analisis diskriminan linear terpenuhi [5].

3.3 Analisis Diskriminan

Analisis diskriminan yang digunakan pada penelitian ini ialah analisis diskriminan linier karena matriks peragam status negatif dengan positif pada mastitis subklinis sapi perah homogen. Pada pembentukan fungsi diskriminan dilakukan dengan menggunakan seluruh peubah untuk fungsi diskriminan awal, kemudian dilanjutkan dengan analisis diskriminan bertatar untuk memperoleh fungsi diskriminan terbaik. Pada pembentukan fungsi diskriminan

awal menggunakan delapan belas peubah, yaitu persentase komposisi kandungan sel limfosit pada masa kolostrum hari pertama hingga keenam, persentase komposisi kandungan sel monosit pada masa kolostrum hari pertama hingga keenam, dan persentase komposisi kandungan sel neutrofil pada masa kolostrum hari pertama hingga keenam. Seluruh pengamatan pada penelitian ini digunakan dalam pembentukan fungsi diskriminan awal. Penggunaan seluruh pengamatan dalam pembentukan model tanpa memisahkan amatan untuk dilakukan validasi disebabkan jumlah amatan yang terlalu sedikit [5]. Sebelum pembentukan fungsi diskriminan awal dilakukan pengujian kesamaan vektor rata-rata, untuk mengetahui peubah apa saja yang berpotensi untuk digunakan dalam pembentukan fungsi diskriminan. Hipotesis yang diuji dalam pengujian kesamaan vektor rata-rata ialah vektor rata-rata kelompok ke- i sama dengan vektor rata-rata kelompok ke- j . Kriteria penolakan H_0 dapat diambil melalui nilai p suatu peubah, jika nilai $p > 0.05$ maka peubah tersebut tidak diikuti sertakan dalam pembentukan fungsi diskriminan awal. Peubah-peubah yang secara signifikan mempengaruhi pembentukan fungsi diskriminan, yaitu persentase komposisi kandungan sel limfosit pada masa kolostrum hari pertama hingga keenam dan persentase komposisi kandungan sel neutrofil pada masa kolostrum hari pertama hingga keenam. Berdasarkan nilai koefisien diskriminan, diperoleh fungsi diskriminan awal sebagai berikut :

$$D = -79.452 + 1.666 L_1 - 0.766 L_2 - 2.398 L_3 + 2.021 L_4 + 1.361 L_5 + 1.359 L_6 \\ + 1.691 N_1 + 0.333 N_2 - 1.714 N_3 + 0.489 N_4 + 0.119 N_5 + 0.099 N_6$$

Dalam pengklasifikasian pengamatan ambing baru, dapat menggunakan perbandingan nilai skor diskriminan dengan nilai pembatas. Nilai pembatas untuk fungsi diskriminan awal dalam penentuan batasan klasifikasi status mastitis subklinis pada sapi perah sebesar 0.000. Hal ini menunjukkan ketika nilai fungsi diskriminan awal (D) ≥ 0.000 maka ambing pada sapi perah tersebut diklasifikasikan pada status negatif dan berlaku untuk sebaliknya. Perhitungan validasi fungsi diskriminan awal dengan penggunaan tabel kesalahan klasifikasi dan nilai APER menggunakan seluruh pengamatan ambing pembentuk fungsi diskriminan awal. Tabel 2 merupakan tabel kesalahan klasifikasi yang menunjukkan banyaknya kesalahan klasifikasi dengan fungsi diskriminan awal.

Tabel 2 Kesalahan klasifikasi fungsi diskriminan awal

		Status Mastitis	
		Positif	Negatif
Hasil Klasifikasi	Positif	39	0
	Negatif	1	6
Total		40	6

Berdasarkan tabel kesalahan klasifikasi, dapat dilihat bahwa sensitivitas fungsi diskriminan awal dalam mengklasifikasi status mastitis sebesar 97.5% dan spesifisitas sebesar 100%. Nilai APER pada fungsi diskriminan tersebut sebesar 2.17% atau fungsi diskriminan awal memiliki ketepatan 97.83%.

Pada analisis diskriminan bertatar menggunakan seluruh peubah yang membentuk fungsi diskriminan awal. Proses analisis diskriminan bertatar dimulai dengan memasukkan duabelas peubah ke dalam fungsi diskriminan. Peubah-peubah tersebut ialah persentase komposisi kandungan sel limfosit pada masa kolostrum hari pertama hingga keenam dan persentase komposisi kandungan sel neutrofil pada masa kolostrum hari pertama hingga keenam. Pada langkah pertama pembentukan fungsi diskriminan bertatar, peubah persentase komposisi kandungan sel limfosit pada masa kolostrum hari keenam terpilih sebagai peubah pertama pembentuk fungsi diskriminan karena memiliki nilai F parsial terbesar, sehingga peubah L_6 merupakan peubah terbaik yang mampu mendiskriminasi status mastitis subklinis pada sapi perah. Peubah selanjutnya yang masuk dalam pembentukan fungsi diskriminan bertatar ialah persentase komposisi kandungan sel neutrofil pada masa kolostrum hari pertama. Langkah selanjutnya peubah N_3 memiliki nilai F parsial terbesar, tetapi peubah tersebut tidak dimasukkan ke dalam fungsi diskriminan awal disebabkan nilai signifikan peubah tersebut lebih besar dari taraf nyata 0.05. Berdasarkan nilai koefisien diskriminan, diperoleh fungsi diskriminan bertatar sebagai berikut :

$$D = -47.021 + 1.997 L_6 + 0.599 N_1$$

Nilai pembatas untuk fungsi diskriminan bertatar dalam penentuan batasan klasifikasi status mastitis subklinis pada sapi perah sebesar 0.000. Hal ini menunjukkan ketika nilai fungsi diskriminan bertatar (D) \geq 0.000 maka ambing pada sapi perah tersebut

diklasifikasikan pada status negatif dan berlaku untuk sebaliknya. Tingkat kesalahan klasifikasi dengan menggunakan analisis diskriminan bertatar dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Kesalahan klasifikasi fungsi diskriminan bertatar

		Status Mastitis	
		Positif	Negatif
Hasil Klasifikasi	Positif	39	0
	Negatif	2	6
Total		40	6

Tabel kesalahan klasifikasi dengan analisis diskriminan bertatar menunjukkan sensitivitas fungsi diskriminan bertatar dalam mengklasifikasi status mastitis sebesar 95% dan spesifisitas sebesar 100%. Nilai APER yang diperoleh adalah sebesar 4.35% atau fungsi diskriminan bertatar memiliki ketepatan 95.65%. Pada analisis diskriminan bertatar dilakukan perhitungan akurasi fungsi diskriminan yang terbentuk, statistik deskriptif nilai APER untuk akurasi fungsi diskriminan bertatar. Berdasarkan hasil akurasi fungsi diskriminan bertatar, fungsi diskriminan bertatar stabil dalam melakukan uji diagnosa status mastitis subklinis. Hal tersebut, dibuktikan dengan rata-rata nilai APER, sensitivitas, dan spesifisitas untuk fungsi diskriminan bertatar pada ulangan berbeda menunjukkan hasil variasi yang kecil.

Pemilihan fungsi diskriminan terbaik dilakukan dengan melihat kriteria validasi dan akurasi fungsi diskriminan yang terbentuk dalam mengklasifikasikan status mastitis subklinis pada sapi perah. Berdasarkan validasi dan akurasi dari kedua fungsi yang terbentuk, memperlihatkan fungsi diskriminan awal memiliki ketepatan dalam klasifikasi status mastitis subklinis lebih baik dibandingkan fungsi diskriminan bertatar. Akan tetapi pada praktik nyata, fungsi diskriminan awal belum dapat mengatasi permasalahan keefisienan biaya dan waktu yang harus dilakukan peternak dalam pemeriksaan status mastitis subklinis. Berdasarkan hal tersebut, peneliti menyarankan kepada para praktisi untuk menggunakan fungsi diskriminan bertatar dalam deteksi status mastitis subklinis. Selain itu, fungsi diskriminan bertatar memiliki rata-rata nilai APER, sensitivitas, dan spesifisitas yang cukup baik masing-masing sebesar 4.42%, 95.18%, dan 100%.

3.4 Nilai Pembatas Peubah-peubah

Pada penelitian ini melakukan perhitungan nilai pembatas terhadap peubah-peubah pembentuk pada fungsi diskriminan terbaik, yaitu persentase komposisi kandungan sel limfosit pada masa kolostrum hari keenam dan persentase komposisi kandungan sel neutrofil pada masa kolostrum hari pertama. Penentuan nilai pembatas untuk masing-masing peubah bertujuan menentukan jenis sel somatik dan waktu pendeteksian yang paling efektif dalam diagnosa status mastitis subklinis. Kriteria pemilihan peubah terbaik yang mampu mendiagnosa status mastitis subklinis pada sapi perah berdasarkan pada peubah yang memiliki nilai sensitivitas, spesifisitas, dan APER terbaik.

Nilai pembatas peubah L_6 dalam penentuan batasan status mastitis subklinis pada sapi perah sebesar 17.1457%. Hal ini menunjukkan ketika persentase komposisi kandungan sel limfosit pada masa kolostrum hari keenam $> 17.1457\%$ maka ambing pada sapi perah tersebut diklasifikasikan pada status negatif dan berlaku untuk sebaliknya. Sensitivitas klasifikasi dengan nilai pembatas peubah L_6 dalam mendiagnosa status mastitis pada sapi perah sebesar 80% dan spesifisitas sebesar 100%. Nilai APER yang diperoleh adalah sebesar 17.39% atau klasifikasi status mastitis subklinis berdasarkan nilai pembatas peubah L_6 memiliki ketepatan 82.61%.

Nilai pembatas peubah N_7 dalam penentuan batasan status mastitis subklinis pada sapi perah sebesar 4.348969%. Hal ini menunjukkan ketika persentase komposisi kandungan sel neutrofil pada masa kolostrum hari pertama $> 4.348969\%$ maka ambing pada sapi perah tersebut diklasifikasikan pada status positif dan berlaku untuk sebaliknya. Sensitivitas klasifikasi dengan nilai pembatas peubah N_7 dalam mendiagnosa status mastitis pada sapi perah sebesar 100% dan spesifisitas sebesar 33.33%. Nilai APER yang diperoleh adalah sebesar 8.7% atau klasifikasi status mastitis subklinis berdasarkan nilai pembatas peubah N_7 memiliki ketepatan 91.3%. Berdasarkan nilai sensitivitas dan spesifisitas dari kedua peubah tersebut, peubah L_6 memiliki nilai lebih baik dibandingkan dengan peubah N_7 , sedangkan hasil yang ditunjukkan dari nilai APER, peubah N_7 memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan peubah L_6 . Nilai sensitivitas dan spesifisitas dapat dijadikan kriteria utama dalam pemilihan peubah terbaik dalam mengklasifikasikan suatu status penyakit. Semakin besar nilai sensitivitas dan spesifisitas yang dihasilkan oleh suatu pengujian dapat

mengindikasikan pengujian tersebut semakin baik dalam mendiagnosa suatu status penyakit (Pagano & Gauvreau 1993). Dengan demikian, peubah L_6 dapat dijadikan indikator terbaik dalam deteksi dini status mastitis subklinis pada sapi perah.

4 KESIMPULAN

Kemampuan fungsi diskriminan dengan menggunakan analisis dikriminan awal lebih baik dibandingkan fungsi diskriminan bertatar. Dengan demikian, diperoleh model pendeteksian dini mastitis subklinis pada sapi perah berdasarkan komposisi sel somatik pada masa kolostrum dengan fungsi diskriminan terbaik, sebagai berikut :

$$D = -79.452 + 1.666 L_1 - 0.766 L_2 - 2.398 L_3 + 2.021 L_4 + 1.361 L_5 + 1.359 L_6 \\ + 1.691 N_1 + 0.333 N_2 - 1.714 N_3 + 0.489 N_4 + 0.119 N_5 + 0.099 N_6$$

Hasil akurasi fungsi diskriminan awal pada ulangan 100 kali menunjukkan rata-rata nilai sensitivitas dan spesifisitas masing-masing bernilai 99.48% dan 100%. Fungsi diskriminan awal tidak dapat mengatasi masalah keefisienan biaya dan waktu dalam kasus penelitian ini pemeriksaan komposisi sel somatik. Berdasarkan hal tersebut, peneliti menyarankan penggunaan fungsi diskriminan bertatar dalam deteksi dini status mastitis subklinis pada sapi perah. Fungsi diskriminan bertatar memiliki rata-rata nilai APER, sensitivitas, dan spesifisitas yang cukup baik masing-masing sebesar 4.42%, 95.18%, dan 100%.

Pada saat praktisi mengharapkan pemeriksaan status mastitis subklinis dapat dilakukan hanya satu kali. Praktisi dapat menggunakan nilai pembatas peubah persentase komposisi kandungan sel limfosit pada masa kolostrum hari keenam dalam mendiagnosa deteksi dini status mastitis subklinis pada sapi perah. Jika persentase komposisi kandungan sel limfosit pada masa kolostrum hari keenam menunjukkan nilai $> 17.1457\%$ maka ambung pada sapi perah tersebut diklasifikasikan pada status negatif dan berlaku untuk sebaliknya. Hasil diagnosa dengan nilai pembatas peubah L_6 memiliki nilai sensitivitas dan spesifisitas yang cukup baik dan nilai APER yang lebih tinggi dibandingkan fungsi diskriminan bertatar. Selain itu, nilai pembatas peubah L_6 memiliki pengamatan negatif palsu yang banyak, sehingga untuk amatan yang berstatus negatif perlu dilakukan pengujian lanjut dalam diagnosa status mastitis subklinis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Subronto. 1985. Ilmu Penyakit Ternak I. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- [2] Novianti MM. 2011. Pendugaan mastitis subklinis pada sapi perah berdasarkan komposisi sel somatik dalam masa kolostrum [tesis]. Bogor: Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- [3] Sudarwanto M, Sudarnika E. 2008. Nilai Diagnostik Tes IPB Mastitis Dibandingkan dengan Jumlah Sel Somatik dalam Susu. 10th National Veterinary Scientific Conference of the Indonesian Veterinary Medical Association; Bogor, 19-21 Agustus 2008.
- [4] Johnson RA, Wichern DW. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- [5] Hair JF et al. 2010. *Multivariate Analysis Methods and Applications*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.

ANALISIS RAGAM DAYA GABUNG DAN RESIPROKAL BOBOT BIJI JAGUNG DALAM PERSILANGAN DIALEL LENGKAP

Nurul Qomariasih¹, I Made Sumertajaya¹, Sutoro²

¹Departemen Statistika – FMIPA IPB

²Kelompok Peneliti Pengelolaan Sumberdaya Genetik, Balai Besar Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian Bogor, Kementerian Pertanian RI

E-mail : nurulqomariasih@gmail.com

ABSTRAK

Daya gabung dapat diartikan sebagai kemampuan genotipe untuk memindahkan sifat yang diinginkan kepada keturunannya. Terdapat dua macam daya gabung yakni Daya Gabung Umum (DGU) dan Daya Gabung Khusus (DGK). Teori statistika ini mempunyai arti penting dalam uji keturunan dan banyak digunakan dalam pemuliaan. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Genetik Pertanian (BB Biogen) sebagai unit kerja, memiliki tugas melakukan pengembangan tanaman pangan, salah satunya jagung. Usaha pengembangan yang dilakukan diantaranya pemuliaan yaitu persilangan dialel. Melalui persilangan dialel lengkap, akan dihasilkan informasi mengenai ukuran penampilan rata-rata tetua (DGU) dan informasi mengenai penampilan keturunan dari hasil kombinasi persilangan (DGK) serta informasi mengenai pengaruh maternal pada keturunan yang disebut resiprokal. Persilangan dialel lengkap lima tetua terhadap bobot per 100 biji jagung memberikan kesimpulan bahwa tetua P4S3-29-4-4-1 memiliki rata-rata penampilan bobot yang paling tinggi dibandingkan tetua yang lain, dan kombinasi antara P4G12-19-2-2-3-Xb3 dengan P4S3-29-4-4-1 akan menghasilkan keturunan dengan bobot biji yang lebih tinggi daripada tetua terbaik dan tetua tengah masing-masing sebesar 15.41% dan 39.10%.

Kata kunci : daya gabung, resiprokal, dialel, heterosis, jagung

1 PENDAHULUAN

Jagung atau *Zea mays L.* yang berasal dari *Famili Graminaceae* alias rumput-rumputan merupakan salah satu jenis tanaman pangan biji-bijian. Tanaman pangan ini akan semakin diminati konsumen terutama bagi yang mementingkan pangan sehat, dengan harga terjangkau bagi siapapun. Jagung kaya akan komponen pangan fungsional antara lain serat pangan yang dibutuhkan tubuh (*dietary fiber*), asam lemak esensial, isoflavon, mineral Fe, β -karoten, komposisi asam amino esensial [8]. Oleh karena itu, kegiatan pengembangan pun dilakukan pada tanaman jagung. Badan Litbang Pertanian Kementerian RI mendirikan sebuah lembaga penelitian dan pengembangan tanaman pangan Indonesia, salah satunya jagung, yang diberi nama Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya

Genetik Pertanian (BB Biogen). Salah satu cara pengembangan yang dilakukan adalah melalui persilangan. Cara pemilihan hibrida yang baik hasil persilangan dilakukan dengan melakukan analisis daya gabung dan heterosis.

Daya gabung merupakan kemampuan tetua untuk memindahkan sifat yang diinginkan kepada keturunannya [5]. Daya gabung terbagi menjadi dua jenis, yaitu Daya Gabung Umum dan Daya Gabung Khusus. Daya Gabung Umum (DGU) dapat diartikan sebagai kemampuan suatu genotipe untuk menunjukkan kemampuan rata-rata keturunan bila disilangkan dengan sejumlah genotipe lain yang dikombinasikan. Bila penampilan rata-rata keturunan tinggi disebut DGU-nya tinggi. Sedangkan Daya Gabung Khusus (DGK) dapat diartikan sebagai kemampuan suatu kombinasi persilangan untuk menunjukkan penampilan keturunan. Bila keturunan berpenampilan tinggi, dikatakan DGK-nya tinggi. Heterosis merupakan keunggulan hibrida atau hasil persilangan (F1) yang melebihi nilai atau kisaran kedua tetuanya. Daya gabung dianalisis setelah dilakukan persilangan dialel lengkap. Persilangan dialel adalah sebuah set persilangan yang dilakukan melibatkan p tetua dalam seluruh kombinasi persilangan yang mungkin [7].

Tujuan dari penelitian ini yakni menentukan tetua yang bila disilangkan dapat menghasilkan keturunan dengan sifat bobot yang spesifik.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bobot Biji

Bobot biji menunjukkan jumlah cadangan makanan, protein, aktivitas mitokondria, kecepatan/kemampuan respirasi/produksi ATP dan *growth potensial* [6].

2.2 Analisis Dialel

Pemilihan macam analisis dialel akan mempengaruhi cara perhitungan pada proses selanjutnya. Terdapat empat macam dialel yang dapat dianalisis [5]. Penggunaan salah satu macam dialel tergantung dari tujuan analisisnya. Jumlah kombinasi pada persilangan dialel tergantung dari macam persilangan tetua, yakni :

1. p^2 kombinasi lengkap, terdiri dari F1, resiprokal, dan penyerbukan sendiri tetuanya.
2. $p(p - 1)$ kombinasi, terdiri dari F1 dan resiproknya.
3. $\frac{1}{2}p(p - 1)$ kombinasi, terdiri F1 saja.

4. $\frac{1}{2}p(p + 1)$ kombinasi, terdiri dari F1 dan penyerbukan sendiri tetuanya.

2.3 Analisis Ragam

Analisis ragam rancangan acak kelompok dipilih sebagai langkah pertama perancangan pada analisis dialel karena biasa/umum digunakan dan kemudahan penerapannya pada kasus ini [4]. Model statistik rancangan acak kelompok (1) adalah sebagai berikut :

$$x_{ijkl} = u + v_{ij} + b_k + (bv)_{ijk} + e_{ijkl} \quad (1)$$

dimana x_{ijkl} merupakan nilai pengamatan pada genotipe, u merupakan rata-rata populasi, v_{ij} adalah pengaruh genotipe $i \times j$, b_k merupakan pengaruh blok ke- k , $(bv)_{ijk}$ adalah interaksi antara genotipe $i \times j$ dengan blok ke- k , dan e_{ijkl} adalah pengaruh lingkungan yang tak terduga dari individu $ijkl$. Analisis ini terdiri dari observasi tunggal di setiap ulangan, mengakibatkan model (1) akan tereduksi menjadi model (2) berikut :

$$x_{ijk} = u + v_{ij} + b_k + (bv)_{ijk} \quad (2)$$

Analisis dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya apabila kuadrat tengah genotipe berbeda nyata atau signifikan. Signifikansi ini dapat dilihat pada Tabel 1 hasil analisis keragaman model tereduksi. Penelitian dilakukan menggunakan sistem persilangan dialel kombinasi lengkap, sehingga memunculkan sebanyak p^2 genotipe. Oleh karena itu, derajat bebas bagi genotipe pada rancangan acak kelompok $a-1 = p^2-1$ dengan p adalah banyaknya tetua.

Tabel 1 Komponen analisis ragam acak kelompok (Genotipe & Blok diasumsikan tetap, Galat diasumsikan acak)

SK	DB	JK	KT
Blok	$b-1$	JKb	KTb
Genotipe	$a-1$	JKg	KTg
Galat	$(a-1)(b-1)$	Jke	KTe
Total	$ab-1$	JKt	KTt

2.4 Analisis Daya Gabung dan Resiprokal

Berdasarkan model dan asumsi pada analisis ragam acak kelompok, model statistika daya gabung yang tepat digunakan pada analisis dialel kombinasi lengkap ini adalah seperti pada model (3) :

$$x_{ij} = u + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + \frac{1}{bc} \sum_k \sum_l e_{ijkl} \quad (3)$$

dimana $i, j : 1, \dots, p$; $k : 1, \dots, b$; $l : 1, \dots, c$; sedangkan u merupakan rata-rata populasi, g_i adalah pengaruh DGU bagi tetua i , g_j adalah pengaruh DGU bagi tetua j , s_{ij} adalah pengaruh DGK persilangan tetua $i \times j$, r_{ij} adalah pengaruh resiprokal persilangan tetua $i \times j$, dan e_{ijkl} merupakan pengaruh lingkungan yang terkait dengan pengamatan individu $ijkl$ [4].

Berdasarkan model statistika di atas, komponen keragaman pada analisis daya gabung dan resiprokal terdiri atas DGU, DGK, dan resiprokal (Tabel 2). Komponen keragaman daya gabung dan resiprokal merupakan penguraian dari keragaman genotipe pada rancangan acak kelompok. Jumlah kuadrat genotipe akan sama nilainya dengan penjumlahan masing-masing jumlah kuadrat DGU, DGK, dan resiprokal yang dikalikan dengan jumlah kelompok. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan jumlah data yang digunakan antara analisis acak kelompok dengan analisis daya gabung. Data yang digunakan pada analisis rancangan acak kelompok terdiri dari data p buah genotipe yang diulang sebanyak k ulangan. Sedangkan data yang digunakan pada analisis daya gabung terdiri atas data k kali ulangan yang dirata-ratakan dari p buah genotipe.

Tabel 2 Analisis ragam daya gabung pada persilangan dialel kombinasi lengkap

SK	DB	JK	KT
DGU	$p-1$	JKu	Ktu
DGK	$p(p-1)/2$	JKk	KTk
Resiprokal	$p(p-1)/2$	JKr	KTr
Galat	m	JKe	KTe

keterangan :

$$m = \frac{(p^2-1)(b-1)}{bc}$$

$$JKu = \frac{1}{2p} \sum_i (x_{i.} + x_{.i})^2 - \frac{2}{p^2} X..^2$$

$$JKk = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j x_{ij} (x_{ij} + x_{ji}) - \frac{1}{2p} \sum_i (x_{i.} + x_{.i})^2 + \frac{1}{p^2} X..^2$$

$$JKr = \sum_i \sum_{j>i} (x_{ij} - x_{ji})^2$$

Pengujian perbedaan nyata dapat dicapai sebagai berikut :

- 1) Pengujian pengaruh daya gabung umum menggunakan : $F_{[(p-1),m]} = KTu / KTe$
- 2) Pengujian pengaruh daya gabung khusus menggunakan : $F_{[p(p-1)/2,m]} = KTk / KTe$

3) Pengujian pengaruh resiprokal menggunakan : $F_{[p(p-1)/2,m]} = KTr / KTe$

Nilai pengaruh masing-masing kriteria berikut, yaitu Daya Gabung Umum, Daya Gabung Khusus, dan resiprokal akan dicari apabila hasil pengujiannya berbeda nyata.

$$\hat{g}_i = \frac{1}{2p}(x_{i.} + x_{.i}) - \frac{1}{p^2}X_{..}$$

$$\hat{s}_{ij} = \frac{1}{2}(x_{ij} + x_{ji}) - \frac{1}{2p}(X_{i.} + X_{.i} + X_{j.} + X_{.j}) + \frac{1}{p^2}X_{..}$$

$$\hat{r}_{ij} = \frac{1}{2}(x_{ij} - x_{ji})$$

2.5 Heterosis

Heterosis adalah keunggulan hibrida atau hasil persilangan (F1) yang melebihi nilai atau kisaran kedua tetuanya [5]. Pengujian dari hasil silang ini bertujuan untuk perbaikan hasil rata-rata keturunan dari tetuanya [1]. Nilai heterosis diduga berdasarkan nilai tengah kedua tetua (*mid parent*) dan nilai tengah tetua terbaik (*best parent*) atau heterobeltiosis [3].

$$\text{Heterosis} = \frac{\mu f 1 - \mu MP}{\mu MP} \times 100\%$$

$$\text{Heterobeltiosis} = \frac{\mu f 1 - \mu HP}{\mu HP} \times 100\%$$

dimana $\mu f 1$ adalah nilai tengah turunan, μMP adalah nilai tengah kedua tetua $\frac{1}{2}(p1 + p2)$, dan μHP adalah nilai tengah tetua terbaik.

3 METODE PENELITIAN

3.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder hasil penelitian Kelompok Peneliti Pengelolaan Sumberdaya Genetik (kelti PSDG) BB Biogen yang dilakukan di Sukabumi pada masa tanam bulan Maret tahun 2011. Jumlah data bobot jagung yang diamati adalah sebanyak 75 data yang terdiri atas data 25 genotipe yang diulang sebanyak 3 kali. Peubah yang diamati adalah bobot per 100 biji jagung (gram). Inbrida tetua yang diteliti yakni ARC1-27-6-6-1-3-2-Xb3, P4G12-19-2-2-3-Xb3, P4G19(5)C2-59-3-3-1-3, P4S3-29-4-4-1, dan ARC-178-1-3-1-1-4-1-1.

3.2 Metode

Prosedur yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian ini yaitu :

1. Pemberian nomor identitas tetua dan deskripsi data hasil persilangan dialel lengkap.
2. Melakukan analisis ragam rancangan acak-kelompok. Cek asumsi sisaan sebelum dilihat perbedaan genotipenya. Jika asumsi belum terpenuhi lakukan transformasi dan identifikasi ulang data. Jika asumsi telah terpenuhi, lihat nilai perbedaan genotipe, jika perbedaannya nyata, proses dilanjutkan ke langkah 3. Jika tidak nyata, proses dihentikan.
3. Hitung Jumlah Kuadrat bagi DGU, DGK dan resiprokal, serta cari nilai signifikansi.
4. Jika setiap Sumber Keragaman dari poin 3 berbeda nyata, hitung nilai pengaruhnya dan menginterpretasikannya. Serta menentukan persentase heterosis dan heterobeltiosis.

4 PEMBAHASAN

4.1 Persiapan dan Deskripsi data

Pemberian identitas berupa nomor seperti ditunjukkan pada Tabel 3 diperuntukkan dalam memudahkan penulisan.

Tabel 3 Penomoran inbrida sebagai identitas

Nomor Identitas	Nama inbrida tetua
1	ARC1-27-6-6-1-3-2-Xb3
2	P4G12-19-2-2-3-Xb3
3	P4G19(5)C2-59-3-3-1-3
4	P4S3-29-4-4-1
5	ARC-178-1-3-1-1-4-1-1

Persilangan dialel lengkap lima tetua di atas akan menghasilkan nilai rata-rata bobot masing-masing pasangan tetua (Tabel 4).

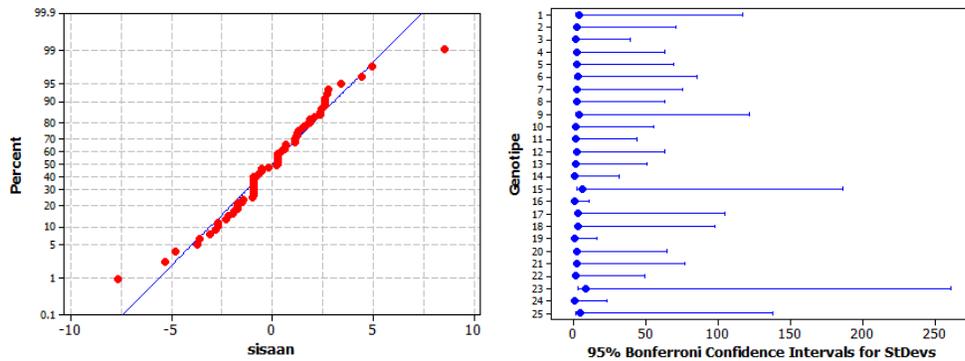
Tabel 4 Data rata-rata dialel lengkap untuk bobot per 100 biji jagung

Tetua	Jantan					Total (xi.)	
	1	2	3	4	5		
Betina	1	27.37	27.75	29.20	28.67	27.80	140.79
	2	27.60	20.97	28.25	36.70	31.00	144.51
	3	25.15	30.25	24.05	27.95	27.63	135.03
	4	26.50	36.43	28.63	31.80	28.95	152.31
	5	26.87	26.40	29.50	25.70	24.35	132.82
Total (x.j)	133.49	141.80	139.63	150.82	139.73	705.47	

Berdasarkan deskripsi rata-rata data pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa penampilan tetua 4 memiliki rata-rata terbesar yaitu 31.80 gram, dilanjutkan tetua 1 sebesar 27.37 gram, tetua 5 sebesar 24.35 gram, 3 sebesar 24.05, dan terkecil tetua 2 sebesar 20.97 gram. Kombinasi hasil persilangan pertama (F1) antar inbrida menghasilkan hibrida yang spesifik sifat bobotnya. Tabel 4 menjelaskan bahwa kombinasi antara tetua 2×4 menghasilkan rata-rata bobot per 100 biji jagung paling besar yaitu 36.70 gram, diikuti kombinasi 4×2 sebesar 36.43 gram, dan kombinasi tetua 2×5 berada di urutan ketiga sebesar 31.00 gram. Sedangkan 3×1 merupakan kombinasi yang menghasilkan hibrida dengan rata-rata bobot paling kecil yaitu 25.15 gram. Berdasarkan pengertian DGU dan DGK, seharusnya urutan bobot biji turunannya akan mengikuti aturan di atas.

4.2 Analisis Ragam Rancangan Acak Kelompok

Data hasil persilangan dialel lengkap 5×5 untuk bobot per 100 butir biji jagung bagi seluruh genotipe yang terdiri dari 3 kali ulangan akan dilihat perbedaan nyata genotipenya. Agar kesimpulan mengenai perbedaan genotipenya sah, pengujian asumsi sisaan perlu dilakukan terlebih dahulu. Pengujian asumsi diantaranya dilakukan terhadap kebebasan sisaan, kenormalan sisaan, serta kehomogenan ragam sisaannya.



Gambar 1 Diagram pencar uji *Kolmogorov Smirnov* dan diagram uji kehomogenan ragam

Pengujian asumsi kebebasan sisaan dilakukan menggunakan *Run test* yang menghasilkan nilai-p sebesar 0.19. Nilai ini melebihi nilai $\alpha=0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa sisaannya saling bebas. Uji kenormalan menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov* sedangkan uji kehomogenan ragam menggunakan Uji Bartlet. Gambar 1 menjelaskan bahwa pada uji *Kolmogorov Smirnov* tampak bahwa sisaan mengikuti pola garis lurus dan uji formal memberikan nilai $p=0.055 > \alpha=0.05$ sehingga sisaan menyebar normal. Begitu pula dengan uji formal kehomogenan ragam memberikan nilai $p=0.069 > \alpha=0.05$ sehingga disimpulkan bahwa ragam sisaan homogen.

Berdasarkan ketiga pengujian tersebut disimpulkan bahwa semua asumsi sisaan telah terpenuhi. Tahap selanjutnya melihat perbedaan kuadrat tengah genotipe. Hasil pengujian terhadap genotipe pada Tabel 5 menunjukkan nilai-F=3.93 lebih besar dari $F_{(24,48,0.05)}=1.75$. Hasil tersebut menyimpulkan bahwa terdapat perbedaan nyata pada genotipe sehingga perlu dilanjutkan dengan analisis daya gabung dan resiprokal.

Tabel 5 Analisis ragam perbedaan genotipe

	SK	DB	JK	KT	F
Kelompok	2		33.73	16.80	1.90
Genotipe		24	834.96	34.79	3.93*
Galat		48	424.80	8.85	
Total		74	1293.49		

*Genotipe berbeda nyata pada $\alpha=0.05$

4.3 Analisis Daya Gabung

Berdasarkan kesimpulan pada subbab sebelumnya yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan nyata pada genotipe, maka jumlah kuadrat genotipe tersebut dapat diurai menjadi komponen yang membentuknya yaitu DGU, DGK, dan resiprokal. Hasil analisis ragam daya gabung pada Tabel 6 menunjukkan bahwa DGU dan DGK berbeda nyata, sedangkan resiprokal tidak berbeda nyata.

Tabel 6 Analisis ragam acak kelompok dan daya gabung

SK	DB	JK	KT	F
Ulangan	2	33.73	16.80	1.90
				3.93
Genotipe	24	834.96	34.79	*
				5.66
DGU	4	200.40	50.10	*
				6.12
DGK	10	541.95	54.20	*
esiprokal	10	92.61	9.261	1.05
Galat	48	424.80	8.85	
		1293.4		
Total	74	9		

*Genotipe, DGU, dan DGK berbeda nyata pada $\alpha=0.05$

Hasil ini menunjukkan bahwa dari seluruh kombinasi yang diuji terdapat paling sedikit sepasang genotipe dengan nilai tengah DGU dan DGK yang berbeda nyata. Perbedaan DGU yang nyata mengindikasikan terdapat tetua yang memiliki kemampuan menggabung lebih tinggi dibandingkan dengan tetua lainnya. Sedangkan perbedaan DGK yang nyata berarti terdapat kombinasi persilangan tertentu yang dapat menghasilkan hibrida yang lebih baik dari persilangan lainnya. Pengaruh resiprokal tidak berbeda nyata berarti tidak terdapat pengaruh maternal pada rata-rata bobot per 100 biji jagung. Pengaruh maternal adalah fenotip anakan untuk karakter tertentu yang dipengaruhi oleh genotip nukleus gamet maternal.

3.4 Pengaruh Daya Gabung, Heterosis, dan Heterobeltiosis

Nilai DGU kelima tetua berdasarkan bobot per 100 biji disajikan pada Tabel 7. Tetua 4 merupakan penggabung yang baik karena nilai DGU-nya terbesar positif dan sekaligus

merupakan tetua yang akan menghasilkan keturunan dengan rata-rata bobot tertinggi. Disusul tetua 2, 3,1, dan tetua 5 merupakan tetua dengan rata-rata bobot terkecil.

Tabel 7 Nilai pengaruh DGU, DGK, heterosis, dan heterobeltiosis

galur tetua	DGU	Hibrida	DGK	Heterosis (%)	Heterobeltiosis(%)
1	-0.792	1×5	0.87	7.509	1.583
		1×3	0.5	13.582	21.414
		1×2	-0.165	14.828	32.353
		1×4	-1.938	-3.099	-9.853
2	0.413	2×4	5.84	39.103	15.409*
		2×3	1.37	135.744	34.738
		2×5	1.032	36.815	47.854
3	-0.752	3×5	2.064	14.187	14.9
		3×4	-1.27	0.09	-12.107
4	2.095	4×5	-2.025	3.117	-8.962
5	-0.964				

Beralih pada nilai DGK yang paling tinggi positif adalah pada kombinasi tetua 2×4, hal ini berarti bahwa kombinasi antara tetua 2 dan 4 akan menghasilkan turunan dengan bobot biji yang tinggi. Disusul oleh kombinasi tetua 3×5 dan 2×3. Sedangkan kombinasi tetua 4×5 akan menghasilkan bobot paling kecil karena nilai DGK-nya negatif terbesar. Hasil tinggi dapat diperoleh apabila kombinasi antar galur memiliki nilai heterosis dan DGK yang besar [2]. Kombinasi tetua 2×4 dipilih sebagai kombinasi terbaik karena 2×4 memiliki kombinasi nilai DGK tertinggi dan heterosis besar positif. Sedangkan kombinasi 1×4 dipilih sebagai kombinasi tetua yang akan menghasilkan turunan dengan bobot biji terkecil karena memiliki nilai DGK dan heterosis yang sangat rendah.

5 KESIMPULAN

Hasil penentuan tetua dan kombinasi tetua terbaik yang dihasilkan melalui analisis deskriptif dan analisis daya gabung adalah berbeda. Melalui hasil analisis daya gabung dan heterosis, kombinasi tetua P4G12-19-2-2-3-Xb3 dengan P4S3-29-4-4-1 akan menghasilkan keturunan dengan bobot biji yang tinggi dengan bobot lebih berat daripada tetua terbaik dan tetua tengah yang masing-masing sebesar 15.41% dan 39.10%. Sedangkan kombinasi tetua

ARC1-27-6-6-1-3-2-Xb3 dengan P4S3-29-4-4-1 akan menghasilkan keturunan dengan bobot biji yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allard RW. 1989. *Pemuliaan Tanaman*. Jakarta : PT Bina Aksara.
- [2] Aryana IGPM. 2007. Heterosis padi beras merah tipe cere dan bulu kultivar NTB. *Agroteksos* Vol. 17 No. 2.
- [3] Ganefianti DW. 2010. Genetik ketahanan cabai terhadap begomovirus penyebab daun keriting kuning dan arah pemuliaannya [tesis]. Bogor : Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- [4] Griffing B. 1956. *Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems*. *Aust. J.Biol.Sci.*9 : 463-493.
- [5] Poespodarsono S. 1988. *Dasar-dasar ilmu pemuliaan tanaman*. Bogor : PAU-LSI IPB.
- [6] Rahmawati, Saenong S. 2011. Mutu fisiologis benih pada beberapa varietas jagung selama periode simpan. *Prosiding Pekan Serealia Nasional*; Maros, 27-28 Juli 2010. Maros: Balai Penelitian Tanaman Serealia. hlm 478-485.
- [7] Singh SK, Chaudary DB. 1979. *Biometrical Methods In Quantitative Analysis*. New Delhi : Kalyani Publisher.
- [8] Suarni.2011. Komposisi nutrisi jagung menuju hidup sehat. Di dalam : *Inovasi teknologi serealia menuju kemandirian pangan dan agroindustri*. *Prosiding Seminar Nasional Serealia*; Maros, Februari 2009. Maros: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. hlm 60-68.

ANALISIS SPASIAL DATA PANEL PADA RATA-RATA PENGELUARAN PER KAPITA PROVINSI JAWA BARAT DENGAN PENDEKATAN MATRIKS *Queen Contiguity* DAN AKSES JALAN

Astri Fitriani, Yenni Angraini, Asep Saefuddin

Departemen Statistika Institut Pertanian Bogor, Bogor

E-mail: acifitriani@gmail.com

ABSTRAK

Rata-rata pengeluaran per kapita merupakan salah satu indikator penting dalam menentukan kesejahteraan penduduk pada suatu wilayah. Jawa Barat merupakan provinsi dengan jumlah penduduk terbesar di Indonesia. Provinsi Jawa Barat memiliki 17 kota dan 9 kabupaten dengan kondisi suku yang seragam yaitu suku sunda. Pola pengeluaran penduduk sangat dipengaruhi oleh preferensi penduduk dan lingkungan sosialnya sehingga ada indikasi pengaruh kebergantungan antar wilayah. Guna menangkap dinamika pengeluaran per kapita Jawa Barat, digunakan data deret waktu pada periode 2004-2008. Analisis statistika yang digunakan adalah analisis ketergantungan spasial data panel dengan pendekatan matriks queen contiguity dan akses jalan. Peubah penjelas yang berpengaruh pada model galat spasial pendekatan matriks queen contiguity adalah \ln daya beli dan \ln jumlah penduduk, peubah penjelas yang berpengaruh pada model galat spasial pendekatan matriks akses jalan adalah \ln jumlah penduduk, \ln daya beli dan \ln persentase angkatan kerja, sedangkan pada model autoregresi spasial seluruh peubah penjelas berpengaruh. Perbedaan signifikansi dari kedua matriks ini disebabkan karena jumlah hubungan kebertetanggaan yang dihasilkan. Dalam kasus rata-rata pengeluaran penduduk Jawa Barat, model yang tepat adalah model data panel pengaruh tetap autoregresi spasial dengan pendekatan matriks hubungan akses jalan.

Katakunci: Analisis Data Panel Spasial, Jawa Barat, Rata-rata pengeluaran per kapita, *queen contiguity*

1 PENDAHULUAN

Pembangunan pada dasarnya merupakan suatu proses yang direncanakan untuk mencapai tujuan dan sasaran tertentu. Sasaran yang ingin dicapai dalam pembangunan manusia adalah peningkatan kesejahteraan masyarakat. Kesejahteraan masyarakat selalu identik dengan indikator – indikator pertumbuhan ekonomi. Salah satu indikator ekonomi yang mencerminkan kesejahteraan masyarakat Indonesia adalah jumlah pengeluaran penduduk per kapita.

Kebijakan yang dilakukan untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi Indonesia tentunya berbeda di setiap daerah. Adanya kebijakan otonomi daerah memberikan keleluasaan setiap daerah untuk melakukan kebijakan sesuai kondisi masing-masing. Salah satu daerah otonom dengan persentase penduduk terbesar di Indonesia adalah Jawa Barat. Kepadatan penduduk di Jawa Barat mencapai 1406 Km². Pentingnya memahami perilaku pengeluaran penduduk, tidak terlepas dari pemahaman akan faktor-faktor pembentuknya. Rata-rata pengeluaran penduduk per kapita dipengaruhi oleh faktor ekonomi, faktor demografi, serta faktor non ekonomi. Menurut Rifai dan Lisna (2009) [5], faktor-faktor tersebut meliputi Produk Domesti Bruto (PDRB), IPM, inflasi, serta ekspektasi masa depan.

Hubungan kuantitatif antara jumlah pengeluaran per kapita penduduk antar wilayah amatan kota kabupaten di Jawa Barat secara spasial dapat menggunakan analisis spasial. Dinamika perubahan jumlah pengeluaran penduduk per kapita dapat terlihat menggunakan data deret waktu. Analisis statistika yang tepat untuk menggambarkan data deret waktu pada beberapa peubah penjelas dengan pengaruh spasial adalah analisis spasial data panel. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi rata-rata pengeluaran per kapita penduduk di Provinsi Jawa Barat menggunakan analisis spasial data panel dengan membandingkan dua pendekatan matriks *queen contiguity* dan akses jalan.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang bersumber dari Jawa Barat dalam angka dan survei sosial ekonomi daerah (SUSEDA) periode tahun 2004 sampai tahun 2008. Peubah respon yang digunakan adalah rata-rata pengeluaran per kapita per tahun yang dikeluarkan penduduk kota kabupaten di Jawa Barat (Juta Rupiah). Peubah bebas untuk rata-rata pengeluaran per kapita terdiri dari X1 sampai X4 yaitu,

1. Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) per kapita kota kabupaten Jawa Barat (Juta Rupiah)
2. Kemampuan daya beli (Rupiah)
3. Jumlah penduduk (Juta Jiwa)
4. Persentase jumlah angkatan kerja (%)

Objek pengamatan yang digunakan adalah kota dan kabupaten Jawa Barat.

2.2 Metode

Tahapan pelaksanaan analisis data panel spasial meliputi :

1. Eksplorasi data untuk melihat pola karakteristik dari data.
2. Pemodelan data panel.

Data panel merupakan gabungan dari data deret waktu dan lintas individu, dengan N jumlah amatan terhadap banyak unit amatan yang diamati secara berulang – ulang selama beberapa kurun waktu. Model umum regresi data panel adalah,

$$y_{it} = \alpha + x_{it}\beta + u_{it}$$

keterangan $i=1,\dots,N$ adalah individu amatan, $t=1,\dots,T$ adalah waktu, β adalah vektor koefisien peubah penjelas ($K \times 1$), x_{it} adalah vektor pengamatan ke- i pada waktu ke- t pada K peubah penjelas, K adalah jumlah peubah penjelas. Pada umumnya data panel mengaplikasikan model komponen error satu arah,

$$u_{it} = \mu_i + v_{it}$$

keterangan μ_i adalah pengaruh khusus individu yang tidak teramati, dan v_{it} sisaan lintas individu dan lintas waktu [2].

- a. Pendugaan parameter model gabungan, model pengaruh tetap dan model pengaruh acak

Model Gabungan

Model gabungan (*pooled least square*) adalah model dengan koefisien regresi yang konstan. Intersep dan *slope* yang sama untuk seluruh unit individu. Pendugaan parameter menggunakan metode kuadrat terkecil (OLS) [4].

Model Pengaruh Tetap

Model pengaruh tetap (*fixed effect*) adalah pendekatan khusus pada ukuran contoh yang sudah di set sedemikian rupa sehingga hanya fokus pada N individu saja. Pengaruh individu yang tidak teramati μ_i diasumsikan tetap. Metode yang digunakan adalah metode *within-groups*.

$$y_{it} = \alpha + x_{it}\beta + \mu_i + v_{it}$$

Pendugaan parameter β pada model ini menggunakan metode kuadrat terkecil (OLS) dengan metode *within*.

Model Pengaruh Acak

Pendekatan lain selain model pengaruh tetap digunakan ketika individu amatan mengikuti kaidah pengacakan dari sejumlah populasi yang besar, sehingga pengaruh pada setiap individu bersifat acak (Baltagi 2005). Pengaruh individu yang tidak teramati μ_i diasumsikan $\mu_i \sim \text{bsi}(0, \sigma^2_\mu)$. Pendugaan parameter menggunakan metode kuadrat terkecil pada model ini menghasilkan penduga yang berbias, sehingga digunakan metode pendugaan parameter dengan GLS (*Generalized Least Square*) [4].

b. Uji signifikansi Chow.

Uji ini digunakan untuk menguji signifikansi antara model pengaruh tetap (*fixed effect*) dengan model gabungan (*pooled model*).

c. Uji signifikansi Hausman

Uji signifikansi antara model pengaruh tetap (*fixed effect*) dengan model pengaruh acak (*random effects*).

3. Penentuan matriks pembobot spasial berdasarkan *queen contiguity* dan akses jalan serta melakukan normalisasi baris untuk mendapatkan matriks (**W**).

Matriks pembobot spasial adalah alat dalam memodelkan hubungan antar wilayah. Konsep matriks pembobot yang digunakan adalah hubungan dengan persinggungan antar sudut dan antar sisi (*queen contiguity*). Elemen dari matriks ini dimisalkan dengan c_{ij} .

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika } i \text{ bersebelahan dengan } j \\ 0, & \text{jika } i \text{ dan } j \text{ tidak bersebelahan} \end{cases}$$

Matriks pembobot spasial W_{ij} didapat dari hasil normalisasi baris pada matriks dengan elemen c_{ij} , dengan membagi setiap elemen matriks pembobot yang bersinggungan dengan jumlahnya berdasarkan baris. Jumlah untuk setiap baris menjadi 1.

4. Penentuan model spasial dengan menggunakan uji Pengganda Lagrange .

Model pengaruh spasial yang diuji adalah model autoregresi spasial dan model galat spasial.

Hipotesis yang digunakan untuk model autoregresi spasial

$$H_0 : \delta = 0 \text{ (tidak ada ketergantungan autoregresi spasial)}$$

$$H_1 : \delta \neq 0 \text{ (ada ketergantungan autoregresi spasial)}$$

Hipotesis yang digunakan untuk model galat spasial

$H_0 : \rho = 0$ (tidak ada ketergantungan galat spasial)

$H_1 : \rho \neq 0$ (ada ketergantungan galat spasial)

Dengan statistik uji

$$LM_\rho = \frac{[(\mathbf{e}' \mathbf{W} \mathbf{e}) / ((\mathbf{e}' \mathbf{e}) / N)]^2}{T}$$

$$LM_\delta = \frac{[(\mathbf{e}' \mathbf{W} \mathbf{y}) / ((\mathbf{e}' \mathbf{e}) / N)]^2}{D}$$

Keterangan, N adalah jumlah amatan, \mathbf{W} adalah matriks pembobot yang telah dinormalisasi, \mathbf{e} menyatakan vektor sisaan dari model data panel. D dan T dinyatakan sebagai

$$D = \left[\frac{(\mathbf{W} \mathbf{X} \hat{\boldsymbol{\beta}})' [\mathbf{I} - \mathbf{X}(\mathbf{X}' \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'] (\mathbf{W} \mathbf{X} \hat{\boldsymbol{\beta}})}{\hat{\sigma}^2} \right] + T$$

$$T = \text{tr}[\mathbf{W}' \mathbf{W} + \mathbf{W} \mathbf{W}]$$

penduga $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ dan $\hat{\sigma}^2$ didapat dari metode OLS pada model data panel, \mathbf{I} adalah matriks identitas, simbol 'tr' menandakan trace dari matriks. Kriteria penolakan H_0 , jika statistik LM lebih besar dari $\chi^2_{(k)}$ dengan K banyaknya peubah, atau p-value < alfa. [1].

5. Pendugaan parameter pada model panel spasial yang terpilih dengan menggunakan MLE.

Model Autoregresi Spasial

Model autoregresi spasial (SAR) digunakan untuk menduga keberadaan serta kekuatan dari interaksi spasial [1]. Model lag spasial dapat dinyatakan sebagai berikut

$$y_{it} = \delta \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt} + \mathbf{x}_{it} \boldsymbol{\beta} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

Keterangan, δ adalah koefisien autoregresi spasial, w_{ij} adalah elemen matriks pembobot yang telah dinormalisasi, y_{it} adalah peubah dependen saat i dan t , ε_{it} adalah error pada amatan ke- i waktu ke- j yang menyebar bebas, stokastik, identik, \mathbf{x}_{it} adalah vektor (1,K) dari peubah penjelas, $\boldsymbol{\beta}$ adalah vektor koefisien (K,1) dari K peubah penjelas. K adalah jumlah peubah penjelas. Metode pendugaan parameter menggunakan MLE (*Maximum Likelihood Estimation*) [3].

Model Galat Spasial

Model galat spasial (SEM) dinyatakan sebagai berikut

$$y_{it} = \mathbf{x}_{it}\boldsymbol{\beta} + \mu_i + \varphi_{it}$$
$$\varphi_{it} = \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} \varphi_{jt} + \varepsilon_{it} \quad , j \neq i$$

Keterangan φ_{it} dan φ_{jt} adalah bentuk sisaan dari autokorelasi spasial, ρ adalah koefisien autokorelasi spasial. Metode pendugaan parameter menggunakan MLE (*Maximum Likelihood Estimation*) [3].

6. Kebaikan model dengan AIC dan SIC

Kriteria kebaikan model menggunakan *Akaike Information Criterion* (AIC) dan *Schwarz Information Crterion* (SIC). Kriteria penentuan model terbaik dapat dilihat untuk nilai AIC dan SIC terkecil.

$$AIC = \log\left(\frac{RSS}{n}\right) + \frac{2k}{n}$$
$$SIC = \log\left(\frac{RSS}{n}\right) + \frac{k}{n} \log n$$

Keterangan, RSS adalah jumlah kuadrat galat, k adalah jumlah parameter, n adalah jumlah amatan [4].

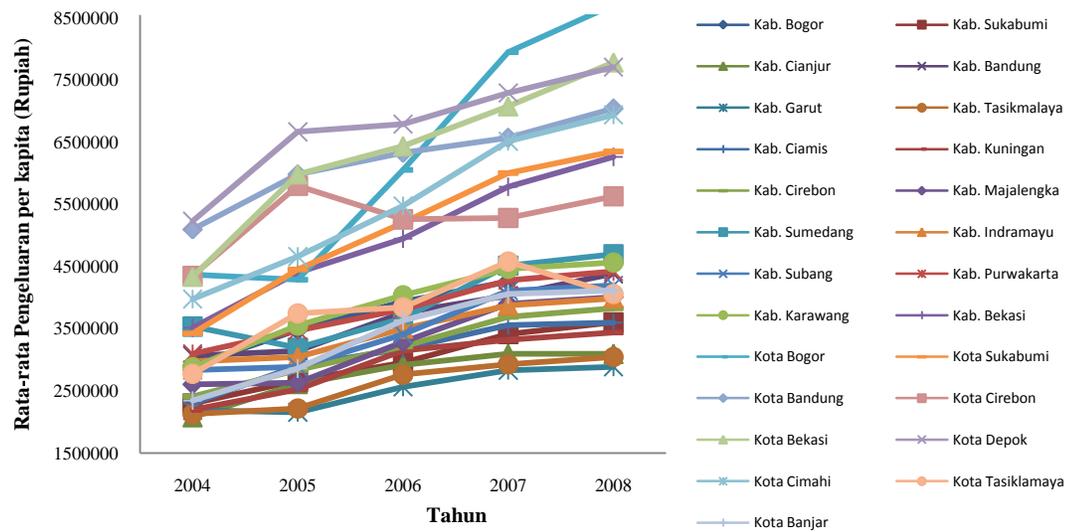
3 PEMBAHASAN

3.1 Eksplorasi Data

Rata-rata pengeluaran penduduk per kapita di Provinsi Jawa Barat terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Kota dan kabupaten dengan rata-rata pengeluaran penduduk per kapita paling tinggi terdapat pada Kota Bogor, Kota Depok menempati urutan kedua, Kota Bekasi menempati urutan ketiga dan Kota Bandung menempati urutan keempat. Berdasarkan hasil plot (Gambar 1), ada beberapa kota dan kabupaten yang berkelompok. Kelompok pertama terdiri dari Kota Bogor, Kota Depok, Kota Bekasi, Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bekasi, Kota Cirebon dan Kota Sukabumi, kelompok kedua terdiri dari kabupaten-kabupaten. Pada plot rata-rata pengeluaran per kapita penduduk, data yang digunakan ditransformasi terlebih dahulu. Transformasi dilakukan karena satuan dari peubah yang digunakan terpaut sangat jauh serta alasan ketidak terpenuhinya asumsi kenormalan di awal. Seluruh peubah bebas ditransformasi menggunakan transformasi logaritma natural.

Hasil (Gambar 1) menunjukkan kelompok kota kabupaten dengan rata-rata pengeluaran penduduk per kapita hampir sama, dipengaruhi oleh hubungan kedekatan antar

wilayah. Hubungan ini mendasari asumsi awal bahwa rata-rata pengeluaran per kapita penduduk pada suatu wilayah selain dipengaruhi oleh faktor-faktor ekonomi juga dipengaruhi oleh hubungan kedekatan antar wilayah. Asumsi awal tersebut, mengindikasikan hubungan kebergantungan spasial antar wilayah pada kasus rata-rata pengeluaran per kapita penduduk di Jawa Barat.



Gambar 1 Grafik rata-rata pengeluaran penduduk kota kabupaten di provinsi Jawa Barat

3.2 Analisis Data Panel

Hasil pendugaan dengan model gabungan (Tabel 1) berpengaruh nyata untuk peubah bebas X1, X2, dan X4. Model pengaruh tetap (Tabel 2) menghasilkan p-value yang nyata untuk seluruh peubah bebas, sedangkan pada model pengaruh acak (Tabel 3) peubah X3 dan X4 tidak berpengaruh.

Tabel 1 Hasil pendugaan model gabungan

Peubah	Koefisien	P-value
C	-45.01533	0.001*
X1	0.191641	0.000*
X2	5.250020	0.000*
X3	-0.010012	0.7265
X4	-2.712446	0.000*
R-squared	0.504730	P-value
Adjusted R-squared	0.488221	0.000000*

*nyata pada alfa=0.10

Tabel 2 Hasil pendugaan model pengaruh tetap

Peubah	Koefisien	P-value
C	-66.01525	0.000*
X1	0.816737	0.000*
X2	3.239262	0.000*
X3	1.404065	0.000*
X4	1.325317	0.058*
R-squared	0.877529	P-value
Adjusted R-squared	0.841808	0.000000*

*nyata pada alfa=0.10

Tabel 3 Hasil pendugaan model pengaruh acak

Peubah	Koefisien	P-value
C	-46.44000	0.000*
X1	0.353535	0.000*
X2	4.189840	0.000*
X3	-1.68E-05	0.9997
X4	0.150005	0.7901
R-squared	0.349113	P-value
Adjusted R-squared	0.327417	0.000000*

*nyata pada alfa=0.10

3.2.1 Uji Chow

Uji ini dilakukan untuk menentukan pemilihan model antara model gabungan dan tetap. Hasil uji Chow dengan nilai $F_{hit}=12.176 > F_{tabel}=2.35$, atau $p\text{-value}=0.000$, keputusan yang diambil adalah tolak H_0 . Cukup bukti untuk mengatakan model sementara mengikuti model pengaruh tetap pada alfa 0.10, sehingga dilakukan uji selanjutnya yaitu uji Hausman.

3.2.2 Uji Hausman

Hasil uji Hausman menunjukkan nilai $\chi^2_{hit}=59.87 > \chi^2_{(4)} = 0,297$ atau nilai $p\text{-value}=0.000$, sehingga cukup bukti untuk mengatakan bahwa model akhir yang terpilih adalah model pengaruh tetap.

3.3 Analisis Spasial Data Panel

3.3.1 Matriks Pembobot

Jenis matriks pembobot yang digunakan dalam penelitian adalah matriks *queen contiguity*. Kota dan kabupaten yang saling bersinggungan memiliki bobot satu dan nol jika tidak saling bersinggungan. Jenis matriks pembobot kedua yang digunakan adalah pembobot berdasarkan akses jalan. Pada peta Provinsi Jawa Barat terlihat ada beberapa kota yang berdekatan namun tidak ada akses jalan. Prinsip dari matriks ini adalah kota dan kabupaten yang memiliki hubungan kebertetanggaan secara geografis menurut *queen contiguity* dan memiliki akses jalan langsung, baik itu jalan utama maupun jalan alternatif memiliki bobot satu dan nol untuk lainnya. Setelah dilakukan pembobotan, maka dilakukan normalisasi pada matriks pembobot dengan membagi setiap elemen pada matriks dengan jumlah pembobot berdasarkan baris.

3.3.2 Uji Pengganda Lagrange

Hasil uji LM pada matriks *queen contiguity* (Tabel 4) menunjukkan p-value pada model galat spasial (SEM) signifikan pada alfa 0.10. Model spasial yang terpilih untuk pendekatan matriks *queen contiguity* adalah model galat spasial.

Tabel 4 Hasil Uji pengganda Lagrange dengan pendekatan matriks *queen contiguity*

Uji LM	Nilai	Khi-Kuadrat	p-value
LM SAR	2.53293	2.705543	1.115e-01
LM SEM	15.24234	2.705543	9.46e-05*

*nyata pada alfa=0.10

Tabel 5 Hasil Uji pengganda Lagrange dengan pendekatan matriks akses jalan

Uji LM	Nilai	Khi-Kuadrat	p-value
LM SAR	2.77743	2.705543	0.095602*
LM SEM	17.6140	2.705543	0.000027*

*nyata pada alfa=0.10

Hasil uji LM pada matriks akses jalan (Tabel 5) menunjukkan nilai p-value pada model galat spasial (SEM) dan model autoregresi spasial (SAR) nyata pada alfa 0.10.

3.3.3 Model Spasial Data Panel Pada Matriks *Queen Contiguity*

Model data panel yang terpilih adalah model data panel dengan pengaruh tetap, serta model spasial yang terpilih adalah model galat spasial. Model galat spasial panel (Tabel 6)

berpengaruh nyata pada peubah X2 yaitu ln dayabeli, peubah X3 yaitu ln jumlah penduduk dan pada koefisien pengaruh galat spasial. Peubah X1, dan X4 yaitu PDRB, dan ln persentase angkatan kerja tidak berpengaruh pada alfa 0.10.

Tabel 6 Pendugaan parameter model galat spasial panel

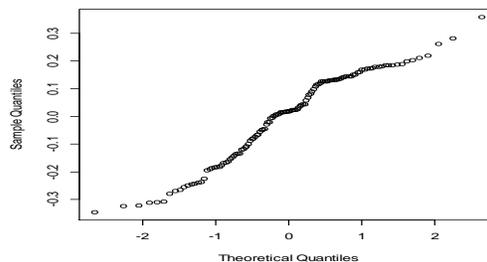
Peubah	koefisien	p-value
Rho	0.885336	$< 2.2e-16^*$
X1	0.069177	0.442921
X2	0.912887	0.005986 *
X3	0.204499	0.090049*
X4	0.535840	0.188129

*nyata pada alfa=0.10

Pemeriksaan asumsi pada model spasial data panel meliputi asumsi kenormalan sisaan, kehomogenan ragam, dan kebebasan sisaan.

1. Kenormalan Sisaan

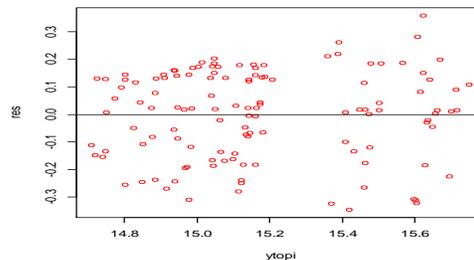
Plot pada nilai sisaan dari model terhadap peluang normal menunjukkan pola mendekati garis linier.



Gambar 2 Q Q plot residual dengan peluang normal

2. Kehomogenan ragam

Kehomogenan ragam dilihat dari plot antara nilai dugaan dengan nilai sisaan.



Gambar 3 Plot tebaran antara sisaan dengan nilai dugaan model SEM

Plot menunjukkan pola tebaran sisaan yang homogen, sedangkan pola keacakan sisaan tidak terpenuhi seolah pola yang terbentuk terpisah menjadi dua kelompok.

3.3.4 Model Spasial Data Panel Pada Matriks Akses Jalan

Model data panel yang terpilih adalah model data panel dengan pengaruh tetap, serta model spasial yang terpilih adalah model galat spasial (SEM) dan model autoregresi spasial (SAR). Model galat spasial panel (Tabel 7) pada pendekatan matriks akses jalan berpengaruh nyata pada peubah X2, X3, X4 dan pada koefisien pengaruh galat spasial.

Tabel 7 Pendugaan parameter model galat spasial panel

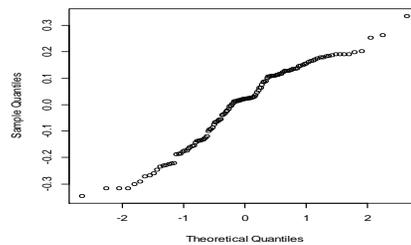
Peubah	koefisien	p-value
Rho	0.832896	$< 2.2e-16^*$
X1	0.114000	0.25822
X2	0.617464	0.08095*
X3	0.312630	0.02057*
X4	0.857233	0.05811*

*nyata pada alfa=0.10

Pemeriksaan asumsi pada model spasial data panel meliputi asumsi kenormalan sisaan, kehomogenan ragam, dan kebebasan sisaan.

1. Kenormalan Sisaan

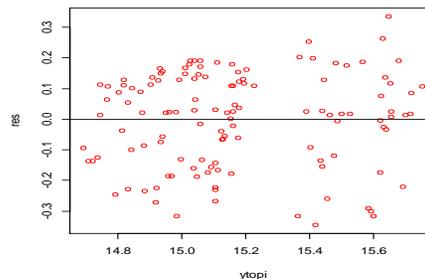
Plot pada nilai sisaan dari model terhadap peluang normal menunjukkan pola mendekati garis linier.



Gambar 4 Q Q plot residual dengan peluang normal

2. Kehomogenan ragam

Kehomogenan ragam dilihat dari plot antara nilai dugaan dengan nilai sisaan. Plot pada model menunjukkan pola yang homogen, plot yang terbentuk tidak mengandung pola.



Gambar 5 Plot tebaran antara sisaan dengan nilai dugaan model SEM

Plot menunjukkan pola tebaran sisaan yang homogen, sedangkan pola keacakan sisaan tidak terpenuhi seolah pola yang terbentuk terpisah menjadi dua kelompok.

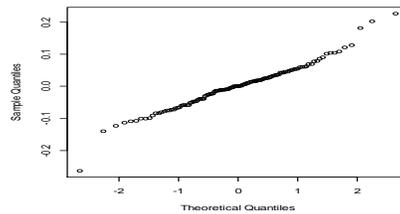
Tabel 8 Pendugaan parameter model autoregresi spasial panel

Peubah	koefisien	p-value
Lambda	0.737844	< 2.2e-16*
X1	0.248929	0.011518*
X2	0.768319	0.030580 *
X3	0.436764	0.004825 *
X4	0.911326	0.017355 *

Model autoregresi spasial panel pada pendekatan matriks akses jalan berpengaruh nyata pada peubah X1, X2, X3, X4 dan pada koefisien pengaruh galat spasial pada alfa 0.10. Pemeriksaan asumsi pada model spasial data panel meliputi asumsi kenormalan sisaan, kehomogenan ragam, dan kebebasan sisaan.

1. Kenormalan Sisaan

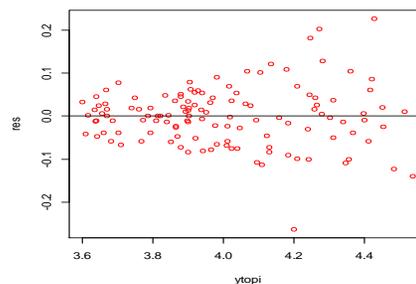
Plot pada nilai sisaan dari model terhadap peluang normal menunjukkan pola mendekati garis linier.



Gambar 6 Q Q plot residual dengan peluang normal

2. Kehomogenan ragam

Kehomogenan ragam dilihat dari plot antara nilai dugaan dengan nilai sisaan. Plot pada model menunjukkan pola sisaan yang menyerupai corong,. Artinya ragam sisaan pada model SAR tidak homogen dan tidak acak, karena masih ada pola dari model yang terdapat dalam sisaan.



Gambar 7 Plot tebaran antara sisaan dengan nilai dugaan model SAR.

3.3.4 Perbandingan Model Pada Pendekatan Matriks *queen contiguity* dan Akses Jalan

Perubahan hubungan pada beberapa wilayah ini dipengaruhi oleh matriks pembobot, terutama pada hasil normaliasi.

Tabel 9 Perbandingan kedua pendekatan matriks

Kriteria	<i>Queen contiguity</i>	Akses Jalan	Akses Jalan
	SEM	SEM	SAR
Uji LM	15.24234	17.6140	2.777
Jumlah Peubah	2	3	4
AIC	-3.611	-3.688	-5.315
SIC	-2.903	-2.979	-5.225

Normalisasi menunjukkan jumlah hubungan yang terbentuk pada masing-masing wilayah. Pendekatan dengan matriks akses jalan pada model SAR lebih banyak menghasilkan jumlah peubah yang nyata, dengan nilai AIC dan SIC lebih kecil, walaupun nilai ketergantungan spasial pada uji lagrange menghasilkan nilai paling kecil namun model autoregresi spasial pada matriks akses jalan lebih baik dilihat dari pemenuhan asumsi kenormalan pada (Gambar 6) menghasilkan plot yang lebih linier.

Ada pengaruh kebergantungan spasial pada lag rata-rata pengeluaran per kapita penduduk antar kota kabupaten Jawa Barat berdasarkan hubungan kebertetangaan akses jalan. Matriks akses jalan lebih merepresentasikan kondisi wilayah amatan yang sebenarnya.

3.3.5 Kelemahan Analisis

Hasil pemeriksaan asumsi pada ketiga model menunjukkan pelanggaran pada asumsi kehomogenan ragam. Model data panel galat spasial pada matriks *queen contiguity* dan akses jalan menghasilkan pola sisaan yang seolah terpisah menjadi dua kelompok. Diduga kelompok tersebut adalah kelompok kota dan kabupaten. Pada model data panel autoregresi spasial menghasilkan pola sisaan yang membentuk corong. Hal ini diduga menjadi penyebab nilai ketergantungan pada model SAR lebih kecil, padahal model SAR menghasilkan model yang lebih baik. Hasil plot tebaran sisaan dan nilai dugaanya tersebut mengindikasikan ada pengaruh lain dalam model yaitu diduga terdapat unsur keheterogenan spasial pada model data panel pengaruh tetap yang dihasilkan.

4 SIMPULAN

Model yang terpilih untuk pendekatan ketergantungan spasial adalah model autoregresi spasial dengan pengaruh tetap pada matriks akses jalan. Pendekatan dengan matriks akses jalan lebih baik dari *queen contiguity* untuk kasus ini, nilai AIC dan SIC yang dihasilkan lebih kecil, serta pemilihan hubungan tiap wilayah lebih sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Peubah bebas yang berpengaruh adalah logaritma natural PDRB per kapita (X1), logaritma natural dayabeli (X2), logaritma natural jumlah penduduk (X3), dan logaritma natural persentase angkatan kerja (X4). Pada model data panel untuk kasus rata-rata pengeluaran penduduk Jawa Barat, diduga ada pengaruh keheterogenan spasial antar wilayah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anselin L. 2009. *Spatial Regression*. Fotheringham AS, PA Rogerson, editor, Handbook of Spatial Analysis. London : Sage Publications.
- [2] Baltagi BH. 2005. *Econometrics Analysis of Panel Data*. Ed ke-3. England : John Wiley and Sons, LTD.
- [3] Elhorst JP. 2009. *Spatial Panel Data Models*. Fisher MM, A Getis, editor, Handbook of Applied Spatial Analysis. New York : Springer.
- [4] Gujarati DN. 2004. *Basic Econometrics*. Ed ke-4. Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc
- [5] Lisna V, Rifai N. 2009. Analisis Faktor-Faktor Ekonomi Makro yang Mempengaruhi Tingkat Konsumsi Era Pemerintahan SBY Jilid I. EPN IPB.

DETEKSI GEROMBOL DENGAN METODE K-RATAAN KERNEL GAUSS

Bimandra Adiputra Djaafara¹, Anik Djuraidah², Aji Hamim Wigena²

¹PT. Ganesha Cipta Informatika, Jakarta
²Departemen Statistika FMIPA-IPB, Bogor
E-mail: bimandra_djaafara@yahoo.com

ABSTRAK

Metode penggerombolan k -rataan tidak mampu menggerombolkan data yang terpisah secara non linier. Salah satu cara mengatasi permasalahan ini adalah dengan menambahkan transformasi fungsi kernel pada metode k -rataan. Metode ini dikenal dengan metode k -rataan kernel. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penentuan nilai lebar jendela dan persentase salah klasifikasi dari metode k -rataan kernel pada beberapa jenis gerombol data. Pada penelitian ini digunakan fungsi kernel Gauss. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode k -rataan kernel mampu menggerombolkan data yang terpisah secara linier maupun non linier, sedangkan metode k -rataan hanya mampu menggerombolkan data yang terpisah secara linier. Kedua metode memiliki kelemahan dalam menggerombolkan data yang memiliki anggota tumpang tindih. Lebar jendela fungsi kernel sangat berpengaruh terhadap persentase salah klasifikasi. Penentuan lebar jendela dengan metode perkiraan kasar cukup efisien.

Kata kunci: Analisis gerombol, k -rataan, kernel Gauss, k -rataan kernel, lebar jendela

1 PENDAHULUAN

Analisis gerombol merupakan suatu metode peubah ganda yang memiliki tujuan untuk mengelompokkan objek-objek ke dalam beberapa gerombol. Objek-objek di dalam satu gerombol memiliki karakteristik yang mirip sedangkan karakteristik antar gerombol berbeda [1]. Metode ini dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti pengenalan pola, mesin pembelajaran, penambahan data dan pemrosesan citra [2]. Metode analisis gerombol yang sering digunakan adalah analisis gerombol dengan metode hierarki dan metode non hierarki k -rataan.

Metode penggerombolan yang paling populer dan sederhana adalah metode k -rataan. Metode k -rataan memiliki sejarah yang bermacam-macam karena diperkenalkan di berbagai bidang yang berbeda-beda oleh banyak ahli seperti oleh Steinhaus pada tahun 1956, Ball dan Hall pada tahun 1965 dan MacQueen pada tahun 1967. Algoritma penggerombolan k -rataan bertujuan untuk meminimumkan kuadrat galat antara pusat gerombol yang terbentuk dengan masing-masing anggota gerombolnya [3]. Salah satu kelemahan yang dimiliki analisis

gerombol dengan metode k -rataan adalah hanya memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi gerombol yang terpisah secara linier [2]. Kelemahan tersebut juga dimiliki oleh analisis gerombol hierarki. Pengimplementasian metode-metode analisis gerombol tersebut pada dunia nyata mengalami banyak kesulitan karena pada umumnya fenomena-fenomena yang terjadi di alam tidak selalu terpisah secara linier.

Girolami [4] memperkenalkan metode penggerombolan dengan menggunakan transformasi fungsi kernel. Metode ini mengalami perkembangan pesat hingga saat ini. Perkembangan metode tersebut menghasilkan banyak metode penggerombolan baru yang menggunakan fungsi kernel sebagai fungsi transformasi non linier. Salah satu hasil pengembangan metode tersebut adalah metode k -rataan kernel. Metode k -rataan kernel adalah penerapan algoritma k -rataan dalam ruang transformasi non linier dengan fungsi kernel.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hasil penggerombolan dengan metode k -rataan kernel ke dalam beberapa kondisi gerombol data yaitu gerombol-gerombol yang terpisah secara linier, terpisah secara non linier, dan gerombol-gerombol dengan anggota yang tumpang tindih.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Metode Kernel

Metode kernel adalah suatu alat pemodelan non parametrik yang sangat handal. Setiap metode kernel secara umum memiliki dua bagian utama. Bagian pertama adalah sebuah modul yang mentransformasikan data dari ruang awal ke dalam ruang baru yang berdimensi tinggi. Bagian kedua adalah suatu algoritma yang berfungsi untuk menemukan pola linier di dalam ruang baru yang terbentuk [5]. Metode ini sering disebut juga sebagai *kernel trick*.

Misalkan $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n$ adalah segugus data berukuran n dengan $\mathbf{x}_i \in R^D$ dan ϕ adalah sebuah fungsi pemetaan yang memetakan \mathbf{x}_i dari ruang awal R^D ke dalam ruang baru yaitu Q maka:

$$H(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \phi(\mathbf{x}_i) \cdot \phi(\mathbf{x}_j)$$

Satu hal yang penting dari fungsi kernel adalah bentuk konkrit dari ϕ tidak diketahui, sehingga transformasi didefinisikan secara implisit. Beberapa fungsi kernel yang biasa digunakan adalah:

Polinomial: $H(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = (\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j + 1)^d$

Radial: $H(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \exp(-r\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2)$

Gaussian: $H(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2\right)$

Pemilihan fungsi kernel yang digunakan sangat spesifik terhadap data. Namun dalam berbagai kasus spesifik dalam pemisahan data, fungsi kernel yang memiliki kemampuan pendugaan yang baik secara umum adalah fungsi kernel berbasis radial [4].

Penentuan lebar jendela yang tepat untuk fungsi kernel Gaussian merupakan hal yang sangat penting. Pemilihan lebar jendela tepat akan meningkatkan ketepatan dari penggerombolan yang akan diterapkan dalam ruang transformasi. Pada fungsi kernel Gauss yang memiliki bentuk umum $\exp(-\gamma\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2)$, lebar jendela γ yang optimum dapat dihitung menggunakan perkiraan kasar dengan rumus:

$$\frac{1}{\gamma} = \text{median}_{i,j=1,\dots,n} d(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) \quad \text{atau} \quad \frac{1}{\gamma} = \text{mean}_{i,j=1,\dots,n} d(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$$

Metode perkiraan kasar ini didasarkan pada sifat kurva kuadrat eksponensial yang memiliki titik penurunan yang paling kuat ketika nilai eksponennya adalah -1 [6].

Beberapa kelemahan utama dari fungsi kernel adalah:

1. Hilangnya beberapa sifat dari ruang yang baru (seperti: dimensi dan selang nilai) karena tidak adanya bentuk yang eksplisit dari ϕ .
2. Penentuan bentuk kernel yang sesuai untuk suatu data harus diketahui melalui eksperimen.
3. Penggunaan fungsi kernel membuat proses komputasi dan biaya penyimpanan meningkat dengan sangat besar [7].

2.3 K-Rataan Kernel

Metode k -rataan kernel merupakan bentuk khusus dari algoritma k -rataan dengan titik-titik data dipetakan terlebih dahulu dari ruang awal ke dalam ruang khusus melalui transformasi non linier ϕ . Selanjutnya algoritma k -rataan diterapkan dalam ruang khusus tersebut. Hal ini akan menghasilkan pemisah linier di dalam ruang khusus yang menyerupai pemisah non linier di ruang awal [2].

Jika $\mathbf{u}_i = \phi(\mathbf{x}_i)$ menunjukkan transformasi dari \mathbf{x}_i maka jarak Euclid antara \mathbf{u}_i dan \mathbf{u}_j adalah:

$$D^2(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j) = \|\phi(\mathbf{x}_i) - \phi(\mathbf{x}_j)\|^2 = \phi^2(\mathbf{x}_i) - 2\phi(\mathbf{x}_i) \cdot \phi(\mathbf{x}_j) + \phi^2(\mathbf{x}_j) \\ = H(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_i) - 2H(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) + H(\mathbf{x}_j, \mathbf{x}_j)$$

Misalkan \mathbf{z}_k adalah titik tengah gerombol dalam ruang yang telah ditransformasi:

$$\mathbf{z}_k = \frac{1}{|C_k|} \sum_{i=1}^n \delta(\mathbf{u}_i, C_k) \mathbf{u}_i$$

dengan $\delta(\mathbf{u}_i, C_k)$ adalah fungsi indikator. Jarak antara \mathbf{u}_i dan \mathbf{z}_k dapat dihitung dengan cara:

$$D^2(\mathbf{u}_i, \mathbf{z}_k) = \left\| \mathbf{u}_i - \frac{1}{|C_k|} \sum_{j=1}^n \delta(\mathbf{u}_j, C_k) \mathbf{u}_j \right\|^2 \\ = H(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_i) + f(\mathbf{x}_i, C_k) + g(C_k) \quad (1)$$

dengan $f(\mathbf{x}_i, C_k) = -\frac{2}{|C_k|} \sum_{j=1}^n \delta(\mathbf{u}_j, C_k) H(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$;

$g(C_k) = \frac{1}{|C_k|^2} \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^n \delta_{j,k} \delta_{l,k} H(\mathbf{x}_j, \mathbf{x}_l)$;

$$\delta_{j,k} = \delta(\mathbf{u}_j, C_k); \delta_{l,k} = \delta(\mathbf{u}_l, C_k)$$

Suku $H(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_i)$ pada persamaan (1) diabaikan pada saat pembentukan fungsi indikator karena faktor tersebut tidak berkontribusi dalam penentuan gerombol terdekat. Penentuan titik tengah dari gerombol direpresentasikan dengan titik tengah semu karena titik tengah gerombol tidak dapat dinyatakan secara eksplisit dalam ruang transformasi [7].

3 METODOLOGI PENELITIAN

Data gerombol yang digunakan dalam penelitian ini ada dua macam, yaitu:

1. Data simulasi sebaran normal ganda.
2. Data simulasi gerombol terpisah non linier

Parameter pada data simulasi sebaran normal ganda selengkapnya tertera pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter pada data simulasi

Data	μ_1, μ_2	σ_i^2	ρ
D1			0.1
D2		4	0.5
D3			0.9
D4			0.1
D5		9	0.5
D6	$\mu_1 = (10,10)$		0.9
D7	$\mu_2 = (15,10)$		0.1
D8		25	0.5
D9			0.9
D10			0.1
D11		$(\sigma_i^2)_1 = 4$ $(\sigma_i^2)_2 = 9$	0.5
D12			0.9

D13		0.1
D14	4	0.5
D15		0.9
D16		0.1
D17	9	0.5
D18	$\mu_1 = (10,10)$	0.9
D19	$\mu_2 = (25,10)$	0.1
D20	25	0.5
D21		0.9
D22		0.1
D23	$(\sigma_i^2)_1 = 4$ $(\sigma_i^2)_2 = 9$	0.5
D24		0.9

Penelitian ini menggunakan dua metode penggerombolan. Kedua metode yang digunakan adalah metode k -rataan dan metode k -rataan kernel dengan menggunakan fungsi kernel Gauss. Tahapan analisis data sebagai berikut :

1. Penentuan lebar jendela optimum dengan perkiraan kasar.
2. Penggunaan metode k -rataan dan catat persentase salah klasifikasi
3. Penggunaan metode k -rataan kernel dan catat persentase salah klasifikasi

4 PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Lebar Jendela Fungsi Kernel

Penentuan lebar jendela fungsi kernel Gaussian merupakan hal yang sangat penting untuk mendapatkan hasil penggerombolan yang baik. Salah satu cara untuk menentukan lebar jendela fungsi kernel Gauss adalah dengan perkiraan kasar: $\frac{1}{\gamma} = \text{mean}_{i,j=1,\dots,n} d(x_i, x_j)$.

Gugus data D1, D22, dan D25 digunakan untuk membuktikan keefisienan perkiraan kasar. Lebar jendela gugus data D1, D22, dan D25 yang dihitung dengan perkiraan kasar

secara berturut-turut adalah 1.5289, 2.2516, dan 1.4921. Persentase salah klasifikasi untuk beberapa lebar jendela pada gugus data D1, D22, dan D25 tertera pada Tabel 2.

Pada gugus data D1 didapatkan persentase salah klasifikasi minimum sebesar 11.83% pada saat lebar jendela 2. Persentase salah klasifikasi dengan lebar jendela yang dihitung menggunakan perkiraan kasar sebesar 12.67%. Untuk data D25 dan D26 dapat dibaca selengkapnya pada Tabel 2. Hasil persentase salah klasifikasi yang dihasilkan oleh lebar jendela yang dihitung dengan perkiraan kasar bukan merupakan persentase salah klasifikasi yang minimum, namun perbedaannya dengan nilai persentase salah klasifikasi minimum pada setiap gugus data kecil. Hal ini menunjukkan bahwa perkiraan kasar cukup efisien untuk menentukan lebar jendela fungsi kernel Gauss.

Tabel 2. Persentase salah klasifikasi untuk beberapa lebar jendela pada gugus data D1, D22, dan D26

Lebar Jendela	Persentase Salah Klasifikasi pada Data		
	D1	D22	D26
0.5	39.67	40.33	17.33
1	28.33	31.17	1.83
1.5	17.67	8.50	0.33
2	11.83	3.17	0.00
2.5	12.33	0.67	0.00
3	12.50	0.00	0.00
3.5	12.00	0.00	0.00
4	12.17	0.00	25.50
4.5	12.17	0.17	25.83
5	12.17	0.17	25.83
1.5389*	12.67	-	-
2.2516*	-	1.33	-
1.4921*	-	-	0.33

Keterangan: * dihitung dengan perkiraan kasar

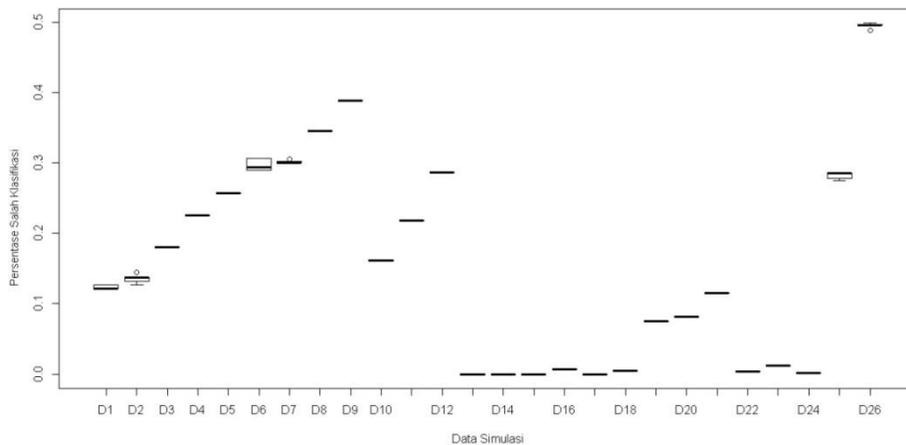
4.2 Konsistensi Metode

Pada masing-masing metode dilakukan ulangan sebanyak tiga puluh kali untuk masing-masing data simulasi. Pengulangan digunakan untuk mengetahui konsistensi hasil penggerombolan dari masing-masing metode. Konsistensi metode ditentukan berdasarkan selang persentase salah klasifikasi dari tiga puluh kali ulangan pada masing-masing kasus data simulasi. Jika nilai maksimum dan minimum dari persentase salah klasifikasi tidak berbeda terlalu jauh dapat dikatakan bahwa metode tersebut konsisten. Diagram kotak garis

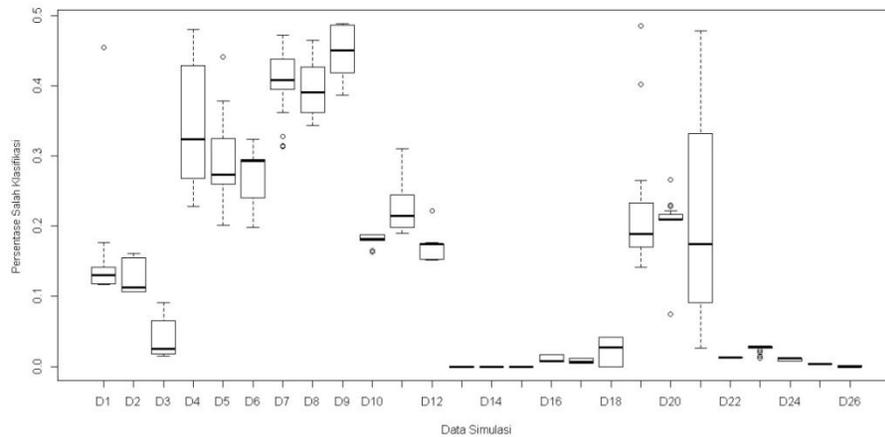
pada Gambar 1 dan Gambar 2 menggambarkan sebaran persentase salah klasifikasi dari tiga puluh ulangan untuk masing-masing metode pada tiap gugus data simulasi D1-D26.

Diagram kotak garis pada Gambar 1 menunjukkan bahwa metode k -rataan merupakan metode yang memberikan hasil akhir penggerombolan yang konsisten. Sebagian besar hasil penggerombolan memberikan nilai yang sama pada setiap ulangannya. Hanya beberapa contoh data simulasi yang menghasilkan variasi hasil akhir penggerombolan namun tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

Diagram kotak garis pada Gambar 2 menunjukkan bahwa metode k -rataan kernel memberikan hasil penggerombolan yang tidak konsisten pada beberapa gugus data. Gugus data dengan hasil penggerombolan yang tidak konsisten adalah gugus data simulasi dengan gerombol-gerombol yang memiliki anggota yang tumpang tindih. Konsistensi hasil penggerombolan dapat dilihat pada gugus data dengan gerombol terpisah secara linier (D13, D14, D15, D16, D17, D18, D22, D23 dan D24) dan gugus data dengan gerombol terpisah secara non linier (D25 dan D26).



Gambar 1 Diagram kotak garis persentase salah klasifikasi data simulasi metode k -rataan



Gambar 2 Diagram kotak garis persentase salah klasifikasi data simulasi metode k -rataan kernel

4.3 Hasil Penggerombolan

Metode analisis gerombol yang baik akan memberikan persentase salah klasifikasi yang kecil. Analisis mengenai kebaikan penggerombolan juga dilakukan dengan melakukan plot data hasil penggerombolan. Plot tersebut digunakan untuk melihat kemampuan tiap metode untuk mengenali pola yang ada pada data.

4.3.1 Gerombol Terpisah Secara Linier

Persentase salah klasifikasi yang kecil dihasilkan oleh kedua metode pada gugus data D13, D14, D15, D16, D17, D18, D22, D23 dan D24. Karakteristik utama dari gugus-gugus data tersebut adalah memiliki jarak antar pusat gerombol yang jauh serta memiliki keragaman data yang kecil sehingga gerombol-gerombol yang dihasilkan benar-benar terpisah secara linier. Persentase salah klasifikasi yang kecil untuk kedua metode menunjukkan bahwa metode k -rataan dan metode k -rataan kernel mampu menggerombolkan sembilan gugus data tersebut dengan sangat baik. Persentase salah klasifikasi untuk sembilan gugus data tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Persentase salah klasifikasi yang kecil dari kedua metode dan konsistensi hasil penggerombolan kedua metode menunjukkan bahwa kedua metode mampu bekerja dengan baik pada data yang terpisah secara linier.

Tabel 3. Rata-rata persentase salah klasifikasi gerombol terpisah secara linier

Data	μ_1, μ_2	σ_i^2	ρ	k -Rataan	k -Rataan Kernel
D13			0.1	0.00	0.00
D14		4	0.5	0.00	0.00
D15			0.9	0.00	0.00
D16	$\mu_1 = (10,10)$ $\mu_2 = (25,10)$		0.1	0.67	1.09
D17		9	0.5	0.00	0.79
D18			0.9	0.50	2.17
D22		$(\sigma_i^2)_1 = 4$	0.1	0.33	1.33
D23		$(\sigma_i^2)_1 = 9$	0.5	1.17	2.53
D24		$(\sigma_i^2)_2 = 9$	0.9	0.17	1.06

4.3.2 Gerombol dengan Anggota Tumpang Tindih

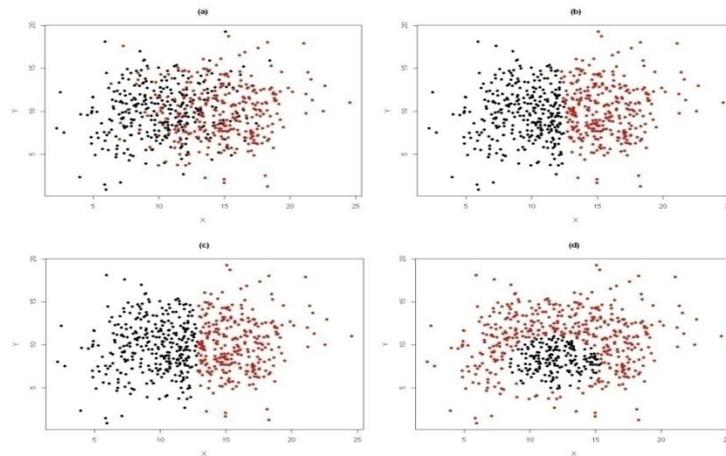
Gugus data D1-D12 merupakan gugus-gugus data yang memiliki jarak antar pusat gerombol yang kecil sehingga membesarnya ragam peubah-peubahnya akan membuat semakin banyak tumpang tindih anggota gerombol. Gugus data D19-D21 memiliki jarak antar pusat gerombol yang besar namun masing-masing gerombol memiliki ragam yang besar juga sehingga terjadi tumpang tindih anggota gerombol. Rata-rata persentase salah klasifikasi untuk gugus-gugus data tersebut tersedia pada Tabel 4. Ilustrasi penggerombolan oleh kedua metode tersedia pada Gambar 3.

Persentase salah klasifikasi yang besar dihasilkan metode k -rataan pada gugus data D1-D12. Persentase salah klasifikasi juga semakin meningkat ketika ragam peubah-peubah pada masing-masing gerombol diperbesar. Karakteristik penggerombolan dengan metode k -rataan yang hanya mampu memisahkan secara linier membuat pemisahan gerombol dilakukan tepat di tengah-tengah. Gugus data D19-D21 memiliki persentase salah klasifikasi untuk metode k -rataan cukup baik. Hal ini disebabkan jarak antar gerombol pada gugus-gugus data tersebut memiliki jarak antar pusat gerombol yang jauh.

Tabel 4. Rata-rata persentase salah klasifikasi gerombol dengan anggota tumpang tindih

Data	μ_1, μ_2	σ_i^2	ρ	k -Rataan	k -Rataan Kernel
D1			0.1	12.37	14.55
D2		4	0.5	13.50	13.06
D3			0.9	18.00	4.42
D4			0.1	22.50	34.13
D5		9	0.5	25.67	28.41
D6	$\mu_1 = (10,10)$		0.9	29.80	27.47
D7	$\mu_2 = (15,10)$		0.1	30.11	40.61
D8		25	0.5	34.50	39.61
D9			0.9	38.83	44.93
D10		$(\sigma_i^2)_1 = 4$	0.1	16.17	17.97
D11			0.5	21.83	22.65
D12		$(\sigma_i^2)_2 = 9$	0.9	28.67	16.68
D19			0.1	7.50	21.10
D20	$\mu_1 = (10,10)$	25	0.5	8.17	20.16
D21	$\mu_2 = (25,10)$		0.9	11.50	19.98

Metode k -rataan kernel menghasilkan hasil salah klasifikasi yang tidak jauh berbeda dengan metode k -rataan ketika diterapkan pada gerombol-gerombol yang memiliki anggota tumpang tindih. Persentase salah klasifikasi yang cukup besar menunjukkan bahwa metode k -rataan kernel juga tidak dapat menggerombolkan dengan baik jika terdapat anggota gerombol yang tumpang tindih. Metode k -rataan kernel juga memperlihatkan hasil yang tidak konsisten jika diterapkan pada gerombol-gerombol yang memiliki anggota yang tumpang tindih. Hal tersebut dapat terlihat dari nilai minimum dan maksimum dari persentase salah klasifikasi yang berbeda cukup jauh. Dari ilustrasi pada Gambar 4, terlihat bahwa metode k -rataan kernel memiliki cara pemisahan gerombol yang berbeda dengan metode k -rataan. Metode k -rataan kernel tidak langsung memisahkan gerombol dengan suatu garis lurus. Posisi gerombol-gerombol yang dihasilkan juga tidak selalu sama. Hasil penggerombolan yang tidak konsisten dan perubahan posisi gerombol di setiap ulangan diduga karena inisialisasi anggota gerombol awal yang berbeda-beda.



Gambar 3. Plot tebaran data dan hasil penggerombolan: (a) Gerombol asli data D4, (b) Hasil penggerombolan metode k -rataan pada data D4, (c) dan (d) Hasil penggerombolan metode k -rataan kernel pada data D4

4.3.3 Gerombol Terpisah Secara Non Linier

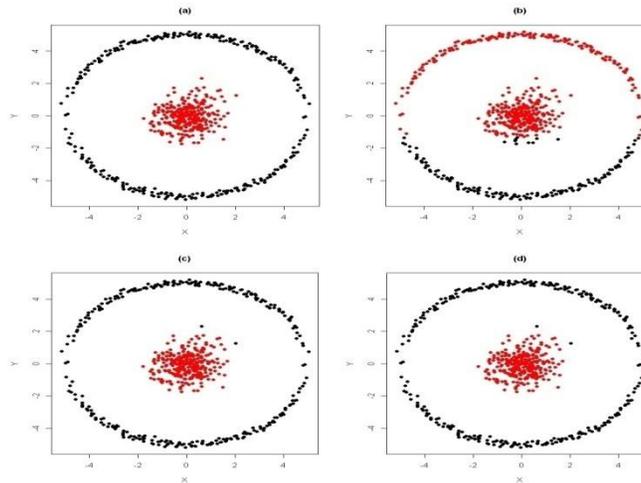
Gugus data D25 dan D26 merupakan gugus data dengan gerombol yang terpisah secara non linier. Perbedaan dari kedua gugus data tersebut adalah pada bentuk data. Gugus data D25 memiliki bentuk gerombol berupa lingkaran sedangkan gugus data D26 memiliki bentuk gerombol berupa persegi. Perbedaan bentuk gerombol ini digunakan untuk melihat kemampuan penggerombolan metode k -rataan kernel Gauss. Pola-pola yang terbentuk dari penggerombolan pada data-data gerombol yang terpisah secara linier maupun gerombol dengan anggota tumpang tindih memperlihatkan kecenderungan gerombol yang dibentuk oleh metode k -rataan kernel Gauss memiliki pola lingkaran. Persentase salah klasifikasi untuk gerombol yang terpisah secara non linier dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata persentase salah klasifikasi gerombol terpisah secara non linier

Data	k -Rataan	k -Rataan Kernel
D25	28.27	0.33
D26	49.57	0.07

Pada Gambar 4 terlihat bahwa metode k -rataan hanya memisahkan gerombol pada gugus data D25 secara linier dengan garis lurus sedangkan penggerombolan dengan metode k -rataan kernel mampu membaca pola lingkaran data sehingga mampu memisahkan kedua gerombol dengan sangat baik. Hal ini menunjukkan bahwa metode penggerombolan k -rataan

kernel mampu menggerombolkan objek-objek pada gerombol yang terpisah secara non linier dengan baik sedangkan metode k -rataan tidak mampu menggerombolkannya dengan baik.



Gambar 4 Plot tebaran data dan hasil penggerombolan: (a) Gerombol asli data D25, (b) Hasil penggerombolan metode k -rataan pada data D25, (c) dan (d) Hasil penggerombolan metode k -rataan kernel pada data D25

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Penentuan lebar jendela fungsi kernel Gauss dengan perkiraan kasar cukup efisien.
2. Metode k -rataan dan k -rataan kernel memiliki kemampuan yang sama baiknya dalam menggerombolkan objek-objek pada gerombol yang terpisah secara linier, akan tetapi metode k -rataan lebih efisien dari sisi komputasi.
3. Metode k -rataan dan k -rataan kernel memiliki kemampuan yang kurang baik dalam menggerombolkan data gerombol yang memiliki anggota tumpang tindih.
4. Metode k -rataan kernel memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menggerombolkan objek-objek pada gerombol yang terpisah secara non linier sedangkan metode k -rataan tidak mampu menggerombolkannya.

5.2 Saran

Beberapa saran untuk penelitian lanjutan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Untuk menentukan lebar jendela fungsi kernel Gauss dapat digunakan metode lain seperti metode validasi silang.
2. Menerapkan transformasi fungsi kernel pada beberapa metode penggerombolan lain seperti *fuzzy c-means*.

6 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sharma S. 1996. *Applied Multivariate Technique*. New York: John Wiley & Sons.
- [2] Tzortzis GF, Likas AC. 2009. The Global Kernel k-Means Algorithm for Clustering in Feature Space. *IEEE Transactions on Neural Networks* Vol. 20(7): 1181-1194.
- [3] Jain AK. 2010. Data Clustering: 50 Years Beyond K-Means. *Pattern Recognition Letters* Vol. 31(8): 651-666.
- [4] Girolami M. 2002. Mercer Kernel Based Clustering in Feature Space. *IEEE Transactions on Neural Networks* Vol. 13: 780-784.
- [5] Shawe-Taylor J, Cristianini N. 2004. *Kernel Methods for Pattern Analysis*. New York: Cambridge University Press.
- [6] Lampert CH. 2009. Kernel Methods in Computer Vision. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision* Vol. 4(3): 193-285.
- [7] Zhang R, Rudnicky AI. 2002. A Large Scale Clustering Scheme for Kernel Clustering. *16th International Conference of Pattern Recognition* Vol. 4: 289-292.

SUDUT MINIMUM ANTAR SUB RUANG VEKTOR UNTUK MEMPELAJARI ASAL SEDIMEN DI PERAIRAN REBON KABUPATEN BATANG JAWA TENGAH

Dwi Haryo Ismunarti

Program Studi Oseanografi UNDIP Semarang
dwiharyois@gmail.com

ABSTRAK

Perairan pantai utara Pulau Jawa mengalami proses sedimentasi yang tinggi karena banyaknya sungai-sungai yang bermuara. Pasokan sedimen dari sungai berbeda-beda tergantung pada tata guna lahan di hulu sungai. Di Perairan Pantai Rebon Kabupaten Batang bermuara Sungai Urang dan Sungai Boyo. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari asal sedimen di Perairan Pantai Rebon berdasarkan kemiripan karakter sedimen di Sungai Urang dan Sungai Boyo. Karakter sedimen yang dipelajari meliputi tekstur, ukuran butir, berat jenis, kandungan karbonat, kandungan bahan organik dan mineral magnetik yang terkandung serta faktor fisika oseanografi yang mempengaruhi persebaran sedimen. Variabel karakter sedimen dan faktor oseanografi di ketiga lokasi masing-masing akan membentuk matriks peubah ganda $n \times p$. Dari *Singular Value Decomposition* terhadap matriks korelasi peubah akan diperoleh sub ruang vektor. Sudut minimum antar sub ruang vektor menjadi ukuran kemiripan antar matriks data. Dari kemiripan matriks data dapat diketahui asal sedimen di Perairan Pantai Rebon. Hasil penelitian diperoleh sudut terkecil terbentuk antara Perairan Pantai Rebon dan Sungai Urang sebesar $27,37^\circ$ dan $28,15^\circ$. Hasil menunjukkan ada kemiripan karakter sedimen di Perairan Rebon dengan karakter sedimen di Sungai Urang dalam hal mineral magnetik yang terkandung, median, *mean*, *skewness* dan *fine sand*. Dengan demikian dapat disimpulkan proses sedimentasi di Perairan Pantai Rebon lebih banyak mendapatkan pasokan dari Sungai Urang dari pada Sungai Boyo.

Katakunci: Pantai Rebon Batang, Sub Ruang Vektor

1 PENDAHULUAN

Perairan Pantai Rebon terletak di Desa Rebon Kecamatan Subah Kabupaten Batang Jawa Tengah, secara astronomi terletak pada $06^{\circ} 53' 43,2''$ LS sd $06^{\circ} 59' 62,7''$ LS dan $109^{\circ} 50' 87,1''$ BT sd $109^{\circ} 51' 36,7''$ BT. Di Perairan Pantai Rebon ditampung dua muara sungai besar yaitu Sungai Boyo dan Sungai Urang yang berpotensi sebagai pemasok sedimen yang berasal dari daratan di sekitar daerah aliran sungai. Di sekitar Sungai Boyo digunakan sebagai tempat permukiman nelayan, TPI (Tempat Pelelangan Ikan) dan di muara sungai merupakan gerbang keluar masuknya kapal nelayan. Sepanjang Sungai Urang digunakan sebagai irigasi dan petani tambak ikan.

Di muara Sungai Boyo terdapat endapan sedimen yang menyebabkan penyempitan dan pendangkalan sehingga mengganggu aktifitas kapal nelayan pada saat surut. Sedangkan pada musim hujan terjadi banjir sampai ke permukiman penduduk karena badan sungai yang tidak mampu menampung debit air dari hulu. Banjir besar di Batang tahun 2002 menyebabkan pelurusan alur Sungai Urang dan menghilangkan meander yang ada. Pasokan sedimen di muara Sungai Urang terbawa oleh arus menyusuri pantai sehingga menutup muara sungai lama, membentuk semacam rawa dan tidak lagi berhubungan langsung dengan laut.

Penelitian dilakukan untuk mengkaji proses sedimentasi yang terjadi di perairan Pantai Rebon yang berasal dari Sungai Boyo dan Sungai Urang. Variabel yang diamati adalah karakter sedimen yang meliputi berat jenis, kandungan karbonat, kandungan bahan organik dan mineral magnetik yang terkandung, ukuran granulometri sedimen dan faktor fisika oseanografi yang mempengaruhi persebaran sedimen yaitu arus, salinitas dan MPT

Misalkan ada beberapa grup contoh pengamatan yang berasal dari lokasi yang berbeda sedangkan peubah yang diamati sama. Setiap grup pengamatan membentuk matriks data \mathbf{X} yang berukuran $n_i \times p$ dimana n_i banyaknya stasiun di masing-masing grup atau lokasi dan p adalah banyaknya peubah yang diamati. Hal yang menarik untuk dipelajari adalah membandingkan ordinasi atau mencari kemiripan antar grup.

Misalkan dari satu lokasi diperoleh matriks data ${}_{ni}\mathbf{X}_p$ dimana x_{ij} adalah pengamatan peubah ke- j yang diukur pada stasiun ke- i . Dalam hal ini baris menyatakan stasiun sebagai individu dan kolom menyatakan peubah yang diamati. Analisis komponen utama dilakukan untuk menyederhanakan dimensi himpunan peubah, yaitu dengan melakukan transformasi ortogonal terhadap peubah asal sehingga membentuk peubah baru yang tidak berkorelasi. Dengan dimensi peubah baru yang lebih kecil misalkan $k < p$ tetapi sudah dianggap cukup memadai untuk menggambarkan keragaman data asal maka konfigurasi data dapat lebih mudah dipahami. Dari masing-masing grup atau lokasi akan diperoleh k komponen utama yang saling ortogonal dan bebas linier dan membentuk sub ruang vektor (RV).

Sudut utama antar sub RV adalah sudut antara dua vektor yang masing-masing terletak pada sub RV yang berbeda. Penggunaan pada aplikasi statistik pertama kali diperkenalkan oleh Hotelling pada tahun 1935 kemudian Cohen dan Ben-Israel pada tahun 1969 pada analisa korelasi kanonik [1]. Krzanowski [2] menamakannya sebagai sudut minimum digunakan untuk membandingkan dua atau lebih sub RV yang masing-masing direntang oleh

k vektor yang berasal dari komponen utama. Ukuran kemiripan antar sub RV adalah V yaitu jumlah kuadrat cosinus sudut. Jika V sama dengan banyaknya dimensi perbandingan yaitu r berarti sub ruang-sub ruang saling berimpit dan dikatakan memiliki konfigurasi yang sama.

2 METODE PENELITIAN

2.1. Sudut antara dua sub ruang vektor (RV)

Jika vektor-vektor kolom matriks ${}_n\mathbf{L}'_l$ dan ${}_n\mathbf{M}'_m$ merupakan landasan ortonormal bagi RV $Q_L \in \mathcal{R}^{n \times l}$ dan $Q_M \in \mathcal{R}^{n \times m}$ dengan dimensi $(Q_L) = l \leq \text{dimensi } (Q_M) = m$ maka sudut minimum antara RV Q_L dan Q_M adalah $0 \leq \theta_1 \leq \theta_2 \leq \dots \leq \theta_l \leq \pi/2$ didefinisikan :

$$\text{Cos } \theta_i = \frac{\mathbf{x}_i' \mathbf{y}_i}{\|\mathbf{x}_i\| \|\mathbf{y}_i\|} = \left\{ \frac{\mathbf{x}' \mathbf{y}}{\|\mathbf{x}\| \|\mathbf{y}\|} : \mathbf{x} \in Q_L, \mathbf{y} \in Q_M, \mathbf{x} \perp \mathbf{x}_k, \mathbf{y} \perp \mathbf{y}_k \right\}_{k=1, \dots, i-1}$$

$$(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i) \in L \times M, i = 1, 2, \dots, l \quad [3] \quad (1)$$

Jika nilai singular dari \mathbf{ML}' adalah $\gamma_1 \geq \gamma_2 \geq \dots \geq \gamma_l \geq 0$ dan $\text{dim}(L \cap M) = k$ maka cosines sudut pasangan vektor ke-i adalah $\text{Cos } \theta_i = \gamma_i, i=1, 2, \dots, l$ dan $\gamma_l = \dots = \gamma_k = 1 > \gamma_{k+1}$ jika $\text{dim}(L \cap M) = k$

2.2. Perbandingan untuk Dua Grup

Pengukuran sebanyak p peubah yang sama dari n_1 individu gugus A diperoleh matriks pengamatan ${}_n\mathbf{X}^{(A)}_p = (\mathbf{x}_{a1}, \mathbf{x}_{a2}, \dots, \mathbf{x}_{ap})$ sedangkan dari n_2 individu gugus B diperoleh matriks ${}_n\mathbf{X}^{(B)}_p = (\mathbf{x}_{b1}, \mathbf{x}_{b2}, \dots, \mathbf{x}_{bp})$ Kemudian dilakukan transformasi ortogonal terhadap matriks pengamatan dengan menggunakan analisis komponen utama (AKU).

Jika k KU pertama dianggap cukup menjelaskan keragaman data maka diperoleh matriks ${}_p\mathbf{L}'_k = [l_1, l_2, \dots, l_k]$ dan ${}_p\mathbf{M}'_k = [\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_k]$ dengan unsur kolom loading dari k KU pertama. Vektor-vektor l_j dan $\mathbf{m}_j \in \mathcal{R}^p, j = 1, 2, \dots, k$ adalah vektor ciri dari matriks simetri dan merupakan vektor yang ortonormal dan bebas linear (Anton 1995).

Jika vektor kolom dari \mathbf{L}' merupakan landasan bagi sub RV Q_L maka setiap vektor $\mathbf{b} \in Q_L$ adalah $\mathbf{b} = \mathbf{L}' \mathbf{a}$ dimana $\mathbf{a} \in \mathcal{R}^k$. Jika vektor kolom dari \mathbf{M}' adalah landasan bagi sub RV Q_M maka vektor $\mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{b} \in Q_M$ adalah proyeksi ortogonal $\mathbf{b} \in Q_L$ di sub RV Q_M . Sudut antara kedua vektor adalah $\theta (0 \leq \theta \leq \pi/2)$ dimana

$$\cos \theta = \frac{\mathbf{b}' \mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{b}}{\|\mathbf{b}\| \|\mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{b}\|} = \frac{\mathbf{a}' \mathbf{L}' \mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{L} \mathbf{a}}{\|\mathbf{L} \mathbf{a}\| \|\mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{L} \mathbf{a}\|} \quad (2)$$

Misalkan matriks $\mathbf{S} = \mathbf{L}' \mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{L}$ dengan mengambil $\|\mathbf{a}\| = 1$ maka $\cos^2 \theta = \mathbf{a}' \mathbf{L}' \mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{L} \mathbf{a} = \mathbf{a}' \mathbf{S} \mathbf{a} \geq 0$ dan \mathbf{S} merupakan matriks simetri semidefinit positif. Nilai maksimum bentuk kuadrat dari $\mathbf{a}' \mathbf{S} \mathbf{a}$ untuk $\|\mathbf{a}\|=1$ sama dengan $\lambda^{(S)}_1$ yaitu akar ciri terbesar matriks \mathbf{S} yang merupakan maksimum $\cos^2 \theta$ sedangkan \mathbf{a} adalah vektor ciri yang bersesuaian [4]. Dengan demikian $\theta = \cos^{-1} \left\{ \left(\lambda^{(S)}_1 \right)^{1/2} \right\}$ adalah sudut terkecil antar vektor dari sub RV Q_L dan sub RV Q_M [2]

Jika r ($r = 1, 2, \dots, k$) adalah dimensi perbandingan maka $\lambda^{(S)}_i$ ($i = 1, 2, \dots, r$) adalah akar ciri terbesar ke- i matriks \mathbf{S} dan \mathbf{a}_i adalah vektor ciri yang bersesuaian. Selanjutnya jika $\mathbf{b}_i = \mathbf{L}' \mathbf{a}_i \in Q_L$ maka $\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_r$ adalah vektor-vektor yang saling ortogonal di sub RV Q_L , sedangkan $\mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{b}_1, \mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{b}_r$ proyeksi ortogonal masing-masing di sub RV Q_M maka sudut antara pasangan vektor ke- i \mathbf{b}_i dan $\mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{b}_i$ adalah

$$\theta_i = \cos^{-1} \left\{ \left(\lambda^{(S)}_i \right)^{1/2} \right\}, \quad (i = 1, 2, \dots, r). \text{ Akar ciri terbesar ke-}i \text{ } (\lambda^{(S)}_i) \text{ adalah}$$

kontribusi ukuran kemiripan pasangan vektor \mathbf{b}_i dan $\mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{b}_i$

Kriteria kedekatan atau kemiripan antara dua sub ruang dengan r dimensi perbandingan adalah $V = \sum_{i=1}^r \cos^2 \theta_i = \sum_{i=1}^r \lambda^{(S)}_i = \text{tr}(\mathbf{S})$. Karena $0 \leq \lambda^{(S)}_i \leq 1$ maka $0 \leq$

$$\sum_{i=1}^r \lambda^{(S)}_i \leq r.$$

Bisektor \mathbf{c}_i yaitu vektor yang berada di antara pasangan vektor \mathbf{b}_i dan $\mathbf{M}' \mathbf{M} \mathbf{b}_i$ dan membagi sudut diantaranya θ_i didefinisikan

$$\mathbf{c}_i = \left\{ \frac{1}{\left(1 + 3 \lambda^{(S)}_i \right)^{1/2}} \right\} \left(\mathbf{I} + \mathbf{M}' \mathbf{M} \right) \mathbf{b}_i \quad (3)$$

Himpunan bisektor $[\mathbf{c}_1, \mathbf{c}_2, \dots, \mathbf{c}_r]$ akan membentuk sub RV yang terdekat terhadap kedua sub RV Q_L dan sub RV Q_M .

2.3. Perbandingan untuk Lebih dari Dua Grup

Misalkan ada $g > 2$ grup contoh dengan masing-masing n_t ($t = 1, 2, \dots, g$) individu yang diamati pada p peubah yang sama. AKU diambil masing-masing k KU untuk grup ke- t dan diperoleh matriks $\mathbf{L}_t = [l_{ij}^{(t)}]$ ($i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, p; t = 1, 2, \dots, g$). Vektor-vektor kolom matriks \mathbf{L}_t akan merentang sub RV berdimensi k dari grup ke- t yaitu Q_T . Kriteria perbandingan diperoleh dengan membentuk sub RV Q_D berdimensi $r = 1, 2, \dots, k$ yang dekat terhadap semua sub RV Q_T yang dibandingkan.

Misal $\mathbf{d} \in \mathfrak{R}^p$ adalah sembarang vektor dari sub RV Q_D proyeksi ortogonal \mathbf{d} ke sub RV Q_T yang direntang oleh KU dari grup ke- t adalah $\mathbf{L}'_t \mathbf{L}_t \mathbf{d}$. Jika θ_t adalah sudut antara vektor \mathbf{d} dengan $\mathbf{L}'_t \mathbf{L}_t \mathbf{d}$ maka $\cos^2 \theta = \mathbf{d}' \mathbf{L}'_t \mathbf{L}_t \mathbf{d}$ sedangkan kriteria kedekatan vektor \mathbf{d} terhadap semua sub RV adalah

$$V = \sum_{t=1}^g \cos^2 \theta_t = \sum_{t=1}^g \mathbf{d}' \mathbf{L}'_t \mathbf{L}_t \mathbf{d} = \mathbf{d}' \sum_{t=1}^g \mathbf{L}'_t \mathbf{L}_t \mathbf{d} \quad (4)$$

$$\text{Jika } \mathbf{H} = \sum_{t=1}^g \mathbf{L}'_t \mathbf{L}_t \text{ maka } V = \mathbf{d}' \mathbf{H} \mathbf{d} \quad (5)$$

Memaksimumkan jumlah kuadrat cosines (V) sama dengan maks bentuk kuadrat $\mathbf{d}' \mathbf{H} \mathbf{d}$. Jika $\|\mathbf{d}\| = 1$ maka maks $\mathbf{d}' \mathbf{H} \mathbf{d}$ adalah sama dengan akar ciri terbesar dari matriks \mathbf{H} yaitu $\lambda^{(H)}_1$ dan vektor \mathbf{d}_1 adalah vektor ciri yang bersesuaian dengan $\lambda^{(H)}_1$. Sudut antara vektor $\mathbf{d}_1 \in Q_D$ dengan $\mathbf{L}'_t \mathbf{L}_t \mathbf{d}_1 \in Q_T$ yaitu vektor proyeksi \mathbf{d}_1 di sub ruang vektor Q_T adalah

$$\theta^{(1)}_t = \cos^{-1} \left\{ \left(\mathbf{d}'_1 \mathbf{L}'_t \mathbf{L}_t \mathbf{d}_1 \right)^{1/2} \right\} \quad (6)$$

Himpunan vektor-vektor ciri matriks \mathbf{H} membentuk sub RV Q_D yang paling dekat dengan semua g sub RV.

Sudut antara vektor ciri \mathbf{d}_j ($j = 1, 2, \dots, r$) yang bersesuaian dengan akar ciri terbesar ke- j dari matriks \mathbf{H} ($\lambda^{(H)}_j$) dengan vektor proyeksinya di sub ruang ke- t Q_T

$$\theta^{(j)}_t = \cos^{-1} \left\{ \left(\mathbf{d}'_j \mathbf{L}'_t \mathbf{L}_t \mathbf{d}_j \right)^{1/2} \right\} \quad (7)$$

Jika masing-masing grup diambil k_i KU maka pangkat matriks \mathbf{H} $k = \min(k_1, k_2, \dots, k_g)$. Penyelesaian persamaan ciri matriks \mathbf{H} akan diperoleh k akar ciri yang tidak sama dengan nol dengan demikian hanya k dimensi yang digunakan untuk membandingkan antar sub ruang.

3. PEMBAHASAN

Transformasi orthogonal dilakukan dengan penguraian nilai singular dari masing-masing matriks data perairan Pantai Rebon, Sungai Boyo dan Sungai Urang. Dua akar ciri pertama lebih besar dari satu yaitu : 12,545 dan 7,451 untuk Sungai Urang, 13,425 dan 6,176 untuk Sungai Boyo dan 5,406 dan 5,345 untuk Pantai Rebon. Chadfield & Collins (1980) menganggap kurang penting dan mengabaikan komponen utama yang bersesuaian dengan akar ciri kurang dari satu. Untuk selanjutnya hanya diambil 2 komponen pertama dan dianggap cukup representatif untuk menjelaskan keragaman data. Matriks $\mathbf{L}' = [l_j]$ ($j=1,2$) merupakan matriks dengan vektor kolom adalah vektor ciri yang bersesuaian dengan dua akar ciri terbesar dari perairan Pantai Rebon dan vektor l_j sebagai landasan bagi sub RV berdimensi dua yaitu Q_L . Sedangkan dari Sungai Urang diperoleh matriks $\mathbf{M}' = [m_j]$ ($j=1,2$) dengan vektor m_j adalah landasan bagi sub RV Q_M

Penyelesaian persamaan ciri matriks $\mathbf{S} = \mathbf{LM}'\mathbf{ML}'$ akan menghasilkan akar ciri $\lambda^{(s)}_i$ dan vektor ciri \mathbf{a}_i . Sudut sebagai ukuran kemiripan konfigurasi untuk masing-masing dimensi perbandingan gugus data berdasarkan persamaan (2) terdapat pada Tabel 1. Sedangkan himpunan vektor-vektor ciri matriks \mathbf{H} berdasarkan persamaan (6) membentuk sub RV Q_D yang paling dekat dengan semua sub RV terdapat pada Tabel 2. Komponen vektor ciri menunjukkan besarnya kontribusi peubah dalam menentukan kemiripan gugus data.

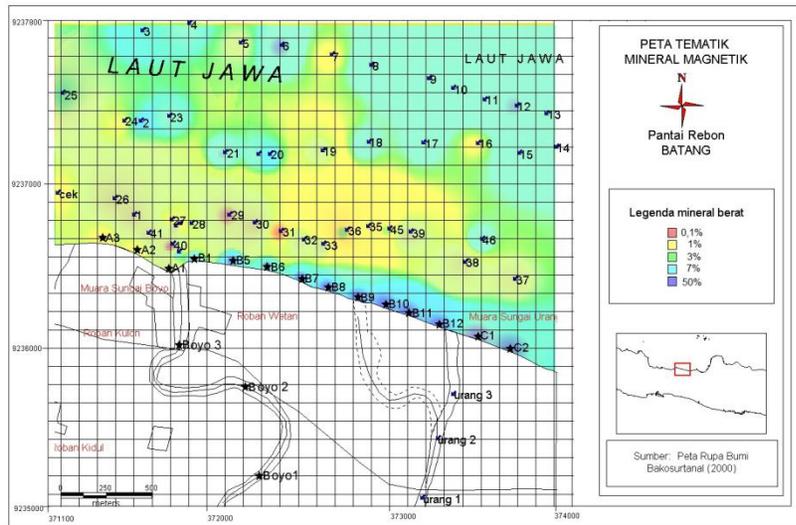
Tabel 1 Sudut antara sub ruang vektor

Lokasi	Dimensi	Sudut ($^\circ$)
Sungai Boyo	1	47.94
	2	52.65
Pantai Rebon	1	27.37
	2	31.99
Sungai Urang	1	28.15
	2	55.37

Tabel 1 menunjukkan sudut terdekat adalah terhadap Pantai Rebon dan Sungai Urang hal ini menunjukkan ada kesamaan karakter sedimen di perairan Pantai Rebon dan Sungai Urang. Tabel 2 menunjukkan kesamaan karakter sedimen di Pantai Rebon dan Sungai Urang adalah dalam hal kandungan mineral magnetik, tekstur sedimen dan MPT. Jenis sedimen di kedua tempat didominasi oleh pasir lanauan dan lanau pasiran. Dapat diduga sedimentasi di perairan Pantai Rebon lebih banyak mendapatkan masukan dari Sungai Urang.

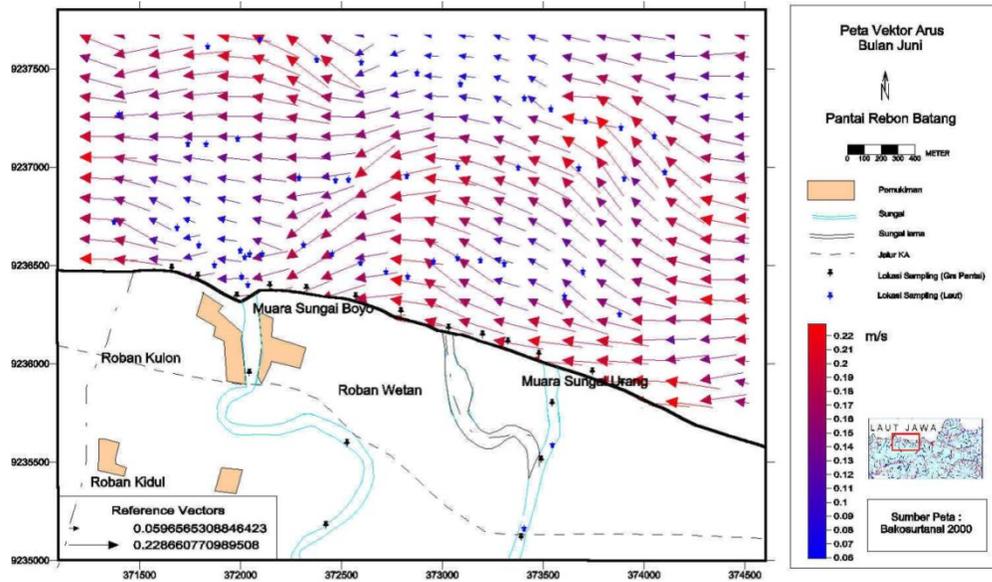
Tabel 2 Sub ruang vektor antara perairan Pantai Rebon dan Sungai Urang

Variabel	Vektor ciri 1	Vektor ciri 2
X1 berat jenis	0.153771	0.062310
X2 karbonat	-0.182252	-0.064402
X3 bhn organik	0.076853	-0.055714
X4 magnetik	0.306753	0.097271
X5 median	-0.355012	0.108502
X6 mean	-0.351036	-0.085055
X7 sortasi	-0.190620	-0.396543
X8 kurtosis	0.226493	0.043715
X9 skewnwss	0.306479	-0.323180
X10 sand medium	-0.107040	-0.225385
X11 sand fine	-0.300790	0.084697
X12 silt	0.297221	-0.064868
X13 clay	0.058238	0.204653
X14 kecepatan	-0.060709	-0.245605
X15 MPT atas	0.260570	-0.022525
X16 MPT tengah	0.277545	0.009066
X17 MPT dasar	0.259800	-0.027044
X18 salinitas_atas	-0.001590	-0.302582
X19	0.049241	-0.514797
salinitastengah	-0.010518	-0.417753
X20 salinitas dasar		



Gambar1 Peta sebaran mineral magnetik dalam sedimen di perairan Pantai Rebon

Dari Gambar 1 tampak bahwa mineral yang mengandung magnetik tinggi di sepanjang garis pantai di sebelah timur dan barat muara Sungai Urang, dan semakin meningkat dari muara Sungai Urang menuju perairan Pantai Rebon. Penyebaran mineral magnetik disebabkan oleh dua hal yaitu arah arus dan gelombang pantai. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni yaitu pada musim timur yang mana angin bertiup dari arah timur menuju ke barat. Angin yang bertiup di atas permukaan air akan mendorong pergerakan air permukaan dan menghasilkan gerakan horizontal yang mampu mengangkat suatu volume air. Arah arus dari timur menuju barat pada saat penelitian terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2 Peta arus permukaan perairan Pantai Rebon

Mineral magnetik yang berasal dari Sungai Urang terbawa oleh arus sepanjang pantai dari timur ke arah barat. Pengendapan mineral terjadi karena pengaruh kecepatan arus di muara dan hambatan karena kelokan-kelokan sepanjang pantai. Arus juga akan memindahkan mineral magnetik yang berada di sepanjang pantai hingga ke laut lepas yang mana mineral yang ringan akan dipindahkan lebih jauh ke laut dibanding mineral yang berat. Pada saat yang bersamaan gelombang menghempas ke atas pantai semua material, dan arus yang kembali akan membawa materi yang ringan dan halus, sedangkan mineral magnetik yang lebih berat ditinggalkan sehingga membentuk deposit pleser di sepanjang pantai (Hariadi, dkk. 2005)

4 KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan sudut terkecil antara sub ruang vektor ke ruang vektor Pantai Rebon sebesar $27,37^\circ$ dan ke ruang vektor Sungai Urang sebesar $28,15^\circ$. Hal ini menunjukkan ada kesamaan karakter sedimen di perairan Pantai Rebon dan Sungai Urang. Dari analisa granulometri sedimen yang ada di Sungai Urang dan Pantai Rebon yaitu median, *mean*, *kurtosis*, *skewness* yang hampir sama menunjukkan sedimen yang ada di perairan Pantai Rebon berasal dari Sungai Urang. Sedimen ini dibawa oleh arus permukaan sepanjang pantai dari Sungai Urang ke perairan pantai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Miao J, Ben-Israel A. 1992. On Principal Angles Between Subspaces in \mathfrak{R}^n *Linear Algebra and Its Applications* 171: 81-98.
- [2] Krzanowski WJ. 1979. Between Group of Pricipal Components. *Journal of American Statistical Associatoion*, 74 356: 703-707.
- [3] Miao J, Ben-Israel A. 1996. Product Cosine of Angles Between Subspaces. *Linear Algebra and Its Applications* 237/238: 71-8.
- [4] Basilevski A. 1983. *Applied Matrix Algebra in Statistical Science*. Ed. Ke 1. Elsevier Science Publishing. New York.
- [5] Hariadi, Alfi S, Warsito A, Baskoro R, Sugeng W. 2005. Kualitas Deposit Bijih Besi di Daerah Mlonggo Jepara. Laporan Penelitian. Jurusan Ilmu Kelautan UNDIP Semarang.

PENERAPAN REGRESI LOGISTIK SPASIAL UNTUK DATA PENYAKIT DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD) DI KOTA BOGOR

Mia Amelia, Muhammad Nur Aidi, Dian Kusumaningrum

Departemen Statistika FMIPA - IPB
Email: mieamelia@gmail.com

ABSTRAK

Kota Bogor merupakan daerah yang terkenal dengan sebutan kota hujan. Munculnya musim hujan dapat menyebabkan penyakit demam berdarah *dengue* (DBD). Penyakit DBD adalah penyakit yang disebabkan oleh virus *dengue* dan ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti* dari penderita kepada orang lain melalui gigitannya. Peubah penjelas yang digunakan dalam penelitian ini adalah kepadatan penduduk (jiwa/km^2), persentase mobilitas penduduk, persentase KK tinggal di pemukiman kumuh, persentase jumlah sekolah dasar, jarak ke poliklinik/balai pengobatan terdekat (km), jarak ke puskesmas pembantu terdekat (km), jarak ke poskesdes terdekat (km), dan jarak ke toko khusus jamu/obat terdekat (km). Peubah respon berisi persentase penderita penyakit DBD di setiap kelurahan di Kota Bogor. Jika suatu wilayah menjadi endemi penyakit DBD, maka diduga wilayah tersebut akan membuat wilayah yang berbatasan langsung dengannya untuk menjadi endemi penyakit DBD yang baru. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh spasial. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi peubah-peubah yang berpengaruh terhadap persentase penderita penyakit DBD di setiap kelurahan di Kota Bogor dengan menggunakan pendekatan analisis regresi logistik spasial. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data berasal dari dua sumber, yaitu data Dinas Kesehatan kota Bogor tahun 2008 dan data Kota Bogor dalam Angka tahun 2008 dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Bogor. Hasil analisis menunjukkan bahwa model regresi logistik spasial memiliki nilai *Correct Clasification Rate* (CCR) sebesar 78.6%. Pada model regresi logistik spasial peubah penjelas yang berpengaruh terhadap persentase penderita penyakit DBD di setiap kelurahan di Kota Bogor adalah jarak ke poskesdes terdekat (km) dan rataan jumlah penderita penyakit DBD pada tiap kelurahan di sekelilingnya.

Kata kunci: Penyakit Demam Berdarah *Dengue* (DBD), Model Regresi Logistik Spasial, CCR

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Bogor merupakan daerah yang terkenal dengan sebutan kota hujan. Munculnya musim hujan dapat menyebabkan penyakit demam berdarah *dengue* (DBD). Penyakit DBD adalah penyakit yang disebabkan oleh virus *dengue* dan ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti* dari penderita kepada orang lain melalui gigitannya.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi jumlah penderita DBD adalah dengan mengidentifikasi peubah-peubah yang berpengaruh terhadap jumlah penderita DBD. Jika suatu wilayah menjadi endemi penyakit DBD, maka diduga wilayah tersebut akan membuat wilayah yang berbatasan langsung dengannya untuk menjadi endemi penyakit DBD yang baru. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh spasial. Berdasarkan Hukum I Geografi, segala sesuatu yang berdekatan lebih erat hubungannya dibandingkan dengan yang berjauhan [1].

Mahtumah [2] melakukan analisis spasial penyakit DBD dengan menggunakan regresi logistik spasial. Penelitian ini menyimpulkan bahwa faktor spasial terbukti berpengaruh nyata dalam penyebaran penyakit DBD di kota Bogor pada tahun 2008. Pada penelitian tersebut dikatakan bahwa model yang cukup baik untuk menduga penyebaran penyakit DBD di kota Bogor pada tahun 2008 adalah model regresi logistik dengan pengaruh spasial pada lag 1. Penelitian ini mencoba menyelidiki peubah-peubah yang berpengaruh terhadap jumlah penderita DBD di Kota Bogor tahun 2008 dengan menggunakan regresi logistik spasial. Selain menggunakan regresi tersebut, penelitian ini juga menggunakan ketergantungan lag spasial untuk mengetahui efek dari pengaruh spasial dan pembobot jarak untuk pembentukan matriks pembobot spasial.

1.2 Tujuan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi peubah-peubah spasial dan non spasial yang berpengaruh terhadap jumlah penderita DBD dengan menggunakan pendekatan analisis regresi logistik spasial.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data berasal dari dua sumber, yaitu data Dinas Kesehatan Kota Bogor tahun 2008 dan data Kota Bogor dalam Angka tahun 2008 dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Bogor. Data dari Dinas Kesehatan Kota Bogor tahun 2008 digunakan sebagai data untuk peubah respon. Peubah respon dalam penelitian ini adalah persentase penderita penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) di setiap kelurahan di Kota Bogor pada tahun 2008. Data Kota

Bogor dalam Angka tahun 2008 dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Bogor digunakan sebagai data untuk peubah penjelas. Peubah penjelas yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah sembilan peubah. Daftar peubah penjelas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Daftar peubah penjelas yang digunakan dalam penelitian

Peubah Penjelas	Nama Peubah Penjelas
X ₁	Kepadatan penduduk (jiwa/km ²)
X ₂	Persentase mobilitas penduduk
X ₃	Persentase KK tinggal di pemukiman kumuh
X ₄	Persentase jumlah sekolah dasar
X ₅	Jarak ke poliklinik/ balai pengobatan terdekat (km)
X ₆	Jarak ke puskesmas pembantu terdekat (km)
X ₇	Jarak ke poskesdes terdekat (km)
X ₈	Jarak ke toko khusus jamu/obat terdekat (km)
Wy	Rataan jumlah penderita penyakit Demam Berdarah <i>Dengue</i> (DBD) pada setiap kelurahan

2.2 Metode [3]

Tahapan analisis yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat matriks pembobot spasial (W)
Penentuan nilai matriks pembobot menggunakan matriks jarak.
2. Membuat peubah bebas baru yang berasal dari pengaruh spasial.

$$\mathbf{X}_{\text{spasial}} = \mathbf{WY}$$

X_{spasial} merupakan rata-rata jumlah penderita penyakit Demam Berdarah *Dengue* (DBD) pada tiap kelurahan

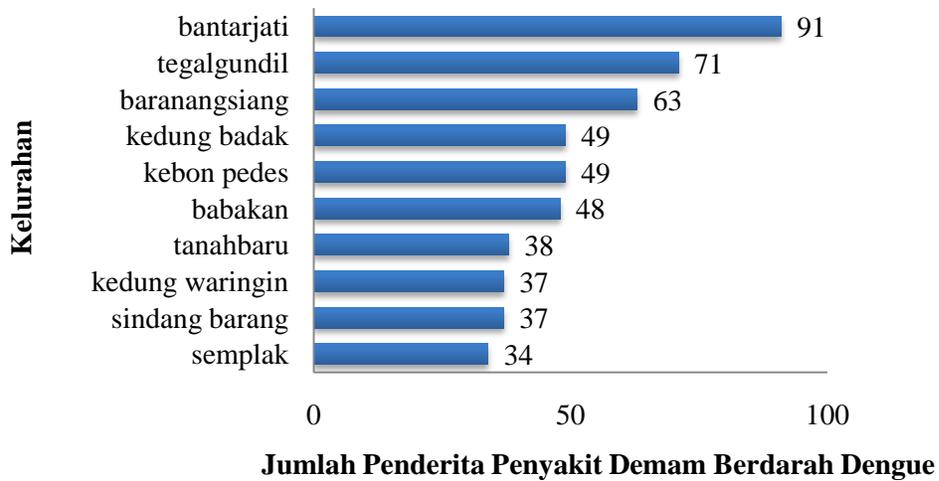
3. Menyeleksi peubah penjelas yang akan dimasukkan ke dalam analisis regresi logistik spasial dengan melakukan uji korelasi *Pearson*. Hasil dari uji korelasi *Pearson*
4. Membuat model regresi logistik untuk penyebaran penyakit DBD
5. Interpretasi model logistik

- a. Melakukan uji simultan dengan uji rasio *Likelihood* . Keputusan Tolak H_0 dilakukan jika $G > \chi^2_{p(\alpha)}$. Jika H_0 ditolak, maka dapat disimpulkan bahwa model tersebut dapat digunakan untuk menduga penyebaran penyakit DBD.
 - b. Mengidentifikasi peubah penjelas yang signifikan terhadap peubah respon sehingga didapatkan model regresi logistik spasial penyakit DBD di Kota Bogor
 - c. Melakukan uji parsial dengan uji Wald. Keputusan Tolak H_0 dilakukan jika $|W| > \chi^2_{p(\alpha)}$. Jika H_0 ditolak, maka dapat disimpulkan bahwa peubah penjelas tersebut memiliki kontribusi yang signifikan terhadap peubah respon
6. Melihat kesesuaian model regresi logistik spasial dari nilai *Correct Classification Rate* (CCR)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

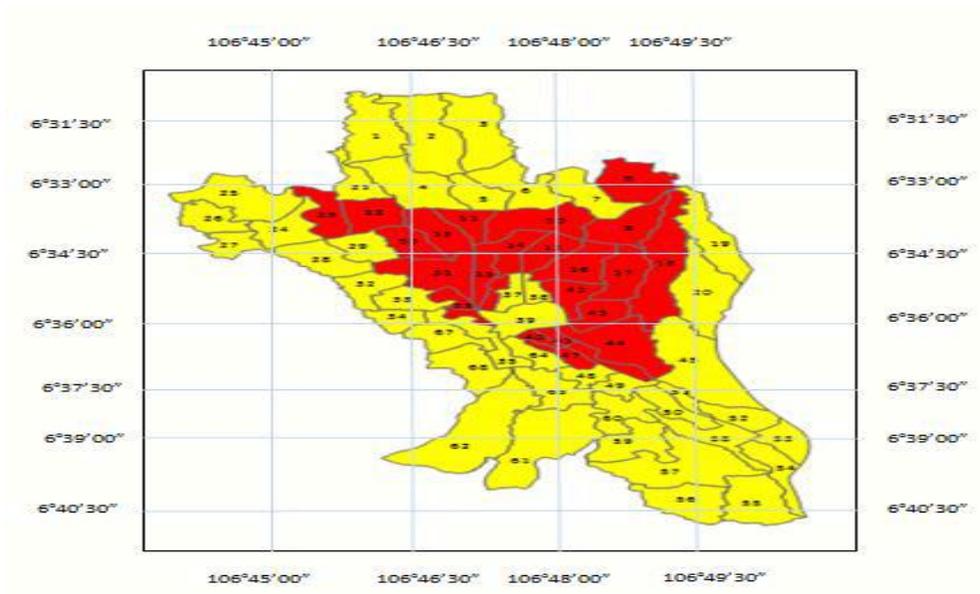
3.1 Eksplorasi Data

Kota Bogor memiliki lima kecamatan, yaitu Kecamatan Bogor Utara, Bogor Timur, Bogor Barat, Bogor Selatan, dan Tanah Sareal. Jumlah kelurahan dari lima kecamatan tersebut yaitu 68 kelurahan. Sepuluh kelurahan yang mempunyai jumlah penderita tertinggi pada tahun 2008 dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 diperoleh informasi bahwa penyakit DBD di Kota Bogor pada tahun 2008 paling banyak menyerang warga di Kelurahan Bantarjati. Penderita DBD di kelurahan tersebut berjumlah 91 orang. Jumlah penderita DBD tertinggi berikutnya berada di Kelurahan Tegalgundil dan Baranangsiang. Penderita DBD untuk masing-masing kelurahan tersebut berjumlah 71 orang dan 63 orang.



Gambar 1 Sepuluh kelurahan di Kota Bogor dengan jumlah penderita DBD terbesar

Peta sebaran penderita DBD di Kota Bogor dapat dilihat pada Gambar 2. Peta tematik tersebut dibuat dengan membagi kelurahan menjadi dua kelompok. Kelurahan yang memiliki persentase penderita penyakit DBD lebih besar dari nilai rataannya diberi warna merah. Kelurahan yang memiliki persentase penderita penyakit DBD lebih kecil dari nilai rataannya diberi warna kuning.



Gambar 2 Peta sebaran penderita DBD di Kota Bogor

Peta tematik pada Gambar 2 menunjukkan bahwa kelompok yang terdiri dari kelurahan-kelurahan yang berwarna sama memiliki korelasi spasial yang tinggi.

3.2 Pemeriksaan Asumsi Model Regresi Logistik Spasial

Model regresi logistik mengasumsikan tidak terjadi multikolineaitas, yaitu adanya peubah penjelas yang saling berkorelasi. Hal ini dikarenakan dengan adanya multikolinearitas akan mengakibatkan galat baku dari koefisien regresinya akan membesar sehingga hasil uji Wald dari masing – masing peubah penjelas akan tidak signifikan, dan signifikansinya tidak stabil. Hasil korelasi Pearson antar peubah penjelas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Hasil korelasi Pearson antar peubah penjelas

		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Wy
X ₁	Koef. Korelasi	1.000								
	Nilai-p									
X ₂	Koef. Korelasi	0.101	1.000							
	Nilai-p	0.413								
X ₃	Koef. Korelasi	0.101	0.699*	1.000						
	Nilai-p	0.414	0.000							
X ₄	Koef. Korelasi	0.013	-0.040	-0.066	1.000					
	Nilai-p	0.916	0.748	0.594						
X ₅	Koef. Korelasi	-0.223	-0.078	0.087	0.183	1.000				
	Nilai-p	0.068	0.529	0.481	0.136					
X ₆	Koef. Korelasi	0.031	0.106	-0.046	-0.104	0.014	1.000			
	Nilai-p	0.801	0.389	0.710	0.397	0.907				
X ₇	Koef. Korelasi	0.320*	0.142	-0.173	-0.232	-0.320*	0.123	1.000		
	Nilai-p	0.008	0.248	0.158	0.057	0.008	0.317			
X ₈	Koef. Korelasi	-0.173	0.021	0.078	0.183	0.269*	0.035	-0.161	1.000	
	Nilai-p	0.158	0.865	0.529	0.135	0.026	0.776	0.189		
Wy	Koef. Korelasi	-0.535*	-0.033	-0.077	0.030	0.319*	0.079	-0.236*	0.386*	1.000
	Nilai-p	0.000	0.792	0.533	0.811	0.008	0.524	0.052	0.001	

*) signifikan pada $\alpha=10\%$

Hasil tersebut menunjukkan beberapa peubah penjelas mempunyai korelasi. Akan tetapi, korelasi antar peubah penjelas tersebut tidak ada yang lebih dari 0.7. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa tidak ada multikolinearitas pada data

penelitian ini sehingga sembilan peubah penjelas tersebut dapat digunakan dalam membangun model regresi logistik spasial.

3.3 Model Regresi Logistik Spasial

Pembentukan model logistik bertujuan untuk mengetahui pengaruh peubah penjelas secara bersama – sama terhadap peubah respon. Nilai uji rasio *Likelihood* yang dihasilkan pada regresi logistik spasial sebesar 49.903. Nilai tersebut akan memberikan keputusan untuk menolak hipotesis nol (H_0). Hal ini dikarenakan nilai uji rasio *Likelihood* $> \chi^2_{(0.05,9)} = 16.919$, artinya model logistik tersebut dapat digunakan untuk menduga penyebaran Demam DBD di Kota Bogor pada tahun 2008. Hasil dari model regresi logistik spasial dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil analisis regresi logistik spasial

Prediktor	Koefisien	Galat Baku Koefisien	Uji Wald	Nilai-p
Intersep	1.157	1.864	0.385	0.535
X_7	0.031	0.016	4.004	0.045*
W_y	-0.034	0.012	7.412	0.006*

*) Signifikan pada $\alpha=10\%$

Berdasarkan hasil uji wald didapatkan bahwa ada dua peubah penjelas yang berpengaruh secara signifikan pada taraf nyata 10% yaitu jarak ke poskesdes terdekat (X_7) dan rataan jumlah penderita penyakit DBD pada setiap kelurahan di Kota Bogor (W_y). Hal ini dapat dilihat dari nilai-p yang dihasilkan pada masing-masing peubah lebih kecil dari $\alpha=10\%$.

3.4 Interpretasi Koefisien Rasio Odds

Interpretasi model regresi logistik dilakukan dengan melihat nilai rasio odds setiap peubah yang telah diuji secara statistik. Nilai Rasio Odds untuk model regresi logistik spasial dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai Rasio Odds untuk model regresi logistik spasial

Prediktor	Exp(B)	Selang Kepercayaan 95%	
		Lower	Upper
Intersep	3.180		
X ₇	1.032	1.001	1.064
Wy	0.967	0.944	0.991

Tabel 4 menunjukkan bahwa untuk peubah rata-rata jumlah penderita penyakit DBD pada tiap kelurahan (Wy) memiliki nilai rasio odds sebesar 0.967. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa kenaikan satu satuan peubah Wy, akan menyebabkan dugaan untuk suatu daerah memiliki persentase penderita penyakit DBD lebih besar dari nilai rata-ratanya meningkat sebesar 0.967 kali. Berdasarkan selang kepercayaan, dapat dikatakan bahwa pada tingkat kepercayaan 95%, peningkatan X_{spasial1} sebesar satu satuan akan menyebabkan kemungkinan suatu daerah memiliki persentase penderita DBD lebih besar dari nilai rata-ratanya meningkat antara 0.944 sampai 0.991 kali.

Interpretasi rasio odds untuk jarak ke poskesdes terdekat (X₇) pada Tabel 4 memiliki nilai rasio odds sebesar 1.032. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa kenaikan kepadatan jarak ke poskesdes terdekat satu kilometer persegi akan menyebabkan kemungkinan suatu daerah memiliki persentase penderita penyakit DBD yang lebih besar dari nilai rata-ratanya meningkat sebesar 1.032 kali. Berdasarkan selang kepercayaan, dapat dikatakan bahwa pada tingkat kepercayaan 95%, peningkatan jarak ke poskesdes terdekat sebesar satu kilometer persegi akan menyebabkan kemungkinan suatu daerah memiliki persentase penderita DBD lebih besar dari nilai rata-ratanya meningkat antara 1.001 sampai 1.064 kali.

3.5 Evaluasi Model Regresi Logistik Spasial

Evaluasi model regresi logistik spasial dapat dilihat dari nilai *Correct Classification Rate* (CCR). Model regresi logistik spasial mempunyai nilai CCR yang sebesar 78.60%

sehingga dapat dinyatakan bahwa model regresi logistik spasial cukup baik untuk menduga penyebaran penyakit DBD di Kota Bogor pada tahun 2008.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 KESIMPULAN

Faktor spasial terbukti berpengaruh nyata dalam penyebaran penyakit Demam Berdarah *Dengue* (DBD) di kota Bogor pada tahun 2008. Pengaruh faktor spasial yang berasal dari rata-rata jumlah penderita penyakit DBD pada tiap kelurahan. Faktor lain yang berpengaruh nyata pada penyebaran penyakit DBD adalah jarak poskesdes terdekat. Model regresi logistik spasial yang dibentuk cukup baik untuk menduga penyebaran penyakit DBD di kota Bogor pada tahun 2008. Hal ini dilihat dari nilai nilai CCR sebesar 78.60%.

4.2 SARAN

Berdasarkan penelitian ini, disarankan agar pemerintah setempat waspada ketika wilayah yang berbatasan langsung dengan wilayahnya terdapat kasus Demam Berdarah *Dengue*. Selain itu, untuk penelitian selanjutnya menggunakan matriks pembobot dengan pendekatan lainnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hosmer DW, Lemeshow S. 2000. *Applied Logistic Regression*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- [2] Mahtumah U. 2010. Penerapan Model Regresi Logistik Spasial (Studi Kasus: Penyebaran Penyakit Demam Berdarah *Dengue* di Kota Bogor Tahun 2008). [Skripsi]. Bogor: Departemen Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [3] Agresti A. 1990. *Categorical Data Analysis*. USA: John Willey & Sons, Inc.

PEMODELAN TINGKAT PENGANGGURAN DI LIMA NEGARA ANGGOTA ASEAN DENGAN REGRESI DATA PANEL DAN *GENERALIZED ESTIMATING EQUATION*

Nuril Anwar¹, Anang Kurnia², Yenni Angraini²

¹PT Bima Palma Nugraha, Jakarta

²Departemen Statistika FMIPA IPB

Email : nuril.stk45@gmail.com

ABSTRAK

Perilaku ekonomi pada negara-negara ASEAN seperti hubungan tingkat pengangguran dengan *gross domestic product* tidak cukup jika hanya diamati pada satu waktu tertentu saja. Pengamatan berulang berdasarkan waktu (deret waktu) pada berbagai negara akan menghasilkan data panel. Selain model regresi data panel, *Generalized Estimating Equation* (GEE) juga digunakan untuk pemodelan data panel dalam paper ini. Perbandingan atau pemilihan model terbaik antara model pengaruh tetap dengan model pengaruh acak pada model regresi data panel dan GEE dilihat berdasarkan nilai R^2 dan *mean square error* (MSE). Hasil analisis menghasilkan R^2 pada model pengaruh tetap 98.64%, model pengaruh acak 90.99%, dan GEE 98.72%. Nilai MSE model pengaruh tetap 0.157, model pengaruh acak 0.778, dan GEE 0.147. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model dengan metode pendugaan GEE merupakan model terbaik dalam penerapan pada kasus tingkat pengangguran di lima negara anggota ASEAN dengan tahun amatan dari tahun 2007 hingga 2010.

Katakunci: Regresi data panel, model pengaruh tetap, model pengaruh acak, *generalized estimating equation*

1 PENDAHULUAN

Pengangguran adalah kondisi dimana seseorang yang masuk dalam angkatan kerja namun tidak mempunyai pekerjaan dan atau masih mencari pekerjaan. Tingkat pengangguran dalam penelitian ini didefinisikan sebagai persentase dari jumlah pengangguran terhadap total angkatan kerja. Lebih lanjut, perilaku ekonomi pada negara-negara ASEAN seperti hubungan tingkat pengangguran dengan GDP tidak cukup jika hanya melakukan pengamatan terhadap negara-negara tersebut pada satu waktu yang sama namun diperlukan juga pengamatan terhadap perilaku negara tersebut pada berbagai periode waktu. Berdasarkan karakteristik tersebut maka diperlukan data yang merupakan data gabungan antara data individu dan deret waktu yang disebut dengan data panel [1].

Salah satu analisis yang sering digunakan pada data panel adalah regresi data panel. Model yang digunakan dalam regresi data panel adalah model pengaruh tetap dan model pengaruh acak. Pendekatan lain yang dapat digunakan adalah *generalized estimating equation* [2].

Setiap model tersebut memiliki karakteristik masing-masing dalam memodelkan suatu masalah atau kasus. Penelitian ini akan menggunakan data ekonomi dari lima negara anggota ASEAN untuk melihat model yang tepat dalam memodelkan tingkat pengangguran.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan model terbaik antara model pengaruh tetap, model pengaruh acak, dan model dengan metode pendugaan GEE pada kasus faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat pengangguran berdasarkan tiga sektor GDP (sektor pertanian, industri, dan *finance*) di lima negara anggota ASEAN.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Regresi Data Panel

Regresi data panel berbeda dengan analisis deret waktu atau analisis regresi biasa. Regresi data panel memperhatikan dua dimensi (individu dan deret waktu) di dalam modelnya, yaitu

$$y_{it} = X'_{it}\beta + u_{it} \quad (1)$$

dimana $i = 1, \dots, N$ menunjukkan dimensi individu dan $t = 1, \dots, T$ merupakan dimensi deret waktu. β adalah matriks berukuran $(K + 1) \times 1$ dengan K adalah banyaknya peubah penjelas dan X_{it} adalah observasi ke- i dengan periode waktu ke- t pada peubah penjelas ke- k . Spesifikasi komponen sisaan pada regresi data panel dengan satu komponen sisaan, yaitu

$$u_{it} = \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

dimana μ_i adalah komponen spesifik dari individu dan ε_{it} adalah galat. Dalam bentuk vektor, persamaan (1) dapat dituliskan sebagai berikut

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\beta + \mathbf{u} \quad (3)$$

dengan

$$\mathbf{u} = \mathbf{Z}_\mu\boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (4)$$

dimana $\mathbf{u}' = (u_{11}, \dots, u_{1T}, u_{21}, \dots, u_{N1}, \dots, u_{NT})$, $\mathbf{Z}_\mu = \mathbf{I}_N \otimes \mathbf{1}_T$ dengan \mathbf{I}_N adalah matriks identitas berukuran $N \times N$, $\mathbf{1}_T$ adalah vektor berdimensi $T \times 1$ dan \otimes adalah *kronecker product*. \mathbf{Z}_μ adalah matriks seleksi dari satuan dan nol atau matriks sederhana dari individu *dummy* yang dapat dimasukkan dalam regresi untuk menduga μ_i jika asumsi parameternya tetap [3].

2.2 Model Pengaruh Tetap

Model pengaruh tetap mengasumsikan μ_i bersifat tetap (*fixed*) sedangkan individu ε_{it} menyebar Normal $(0, \sigma_\varepsilon^2)$ bebas stokastik identik. X_{it} saling bebas dengan ε_{it} untuk setiap i dan t . Pendugaan parameter pada model pengaruh tetap dapat dilakukan dengan prinsip *least square*. Persamaan (1) dapat dituliskan menjadi

$$\mathbf{y}_{it} = \alpha + X_{it}\boldsymbol{\beta} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Persamaan tersebut dirata-ratakan untuk keseluruhan waktu sehingga diperoleh persamaan

$$\bar{\mathbf{y}}_i = \alpha + \bar{\mathbf{x}}_i \boldsymbol{\beta} + \mu_i + \bar{\varepsilon}_i \quad (6)$$

dan dengan mengurangkan persamaan (5) dengan persamaan (6) (*within information*) didapatkan persamaan

$$\mathbf{y}_{it} - \bar{\mathbf{y}}_i = (\mathbf{x}_{it} - \bar{\mathbf{x}}_i)\boldsymbol{\beta} + (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i) \quad (7)$$

kemudian persamaan (5) dirata-ratakan untuk keseluruhan pengamatan sehingga diperoleh

$$\bar{\mathbf{y}}_{..} = \alpha + \bar{\mathbf{x}}_{..} \boldsymbol{\beta} + \bar{\varepsilon}_{..} \quad (8)$$

dengan menggunakan $\sum_{i=1}^N \mu_i = 0$ sebagai batasan [4].

Model diatas diduga dengan menggunakan pendekatan metode kuadrat terkecil. Kenyataannya hanya $\boldsymbol{\beta}$ dan $(\alpha + \mu_i)$ yang dapat diduga pada persamaan (5). $\tilde{\boldsymbol{\beta}}$ didapatkan dengan meregresikan persamaan (7) melalui metode kuadrat terkecil yaitu,

$$\tilde{\boldsymbol{\beta}} = (\tilde{\mathbf{X}}'\tilde{\mathbf{X}})^{-1}\tilde{\mathbf{X}}'\tilde{\mathbf{y}} \quad (9)$$

dengan $\tilde{\mathbf{X}} = (\mathbf{x}_{it} - \bar{\mathbf{x}}_i)$, $\tilde{\mathbf{y}} = (\mathbf{y}_{it} - \bar{\mathbf{y}}_i)$ dan $\text{var}(\tilde{\boldsymbol{\beta}}) = \sigma_v^2 (\tilde{\mathbf{X}}'\tilde{\mathbf{X}})^{-1}$. $\tilde{\alpha} = \bar{\mathbf{y}}_{..} - \bar{\mathbf{x}}_{..} \tilde{\boldsymbol{\beta}}$ dari persamaan (8), dan $\tilde{\mu}_i = \bar{\mathbf{y}}_{i.} - \tilde{\alpha} - \bar{\mathbf{x}}_i \tilde{\boldsymbol{\beta}}$ dari persamaan (6) [4].

2.3 Model Pengaruh Acak

Banyaknya parameter pada model pengaruh tetap dan berkurangnya derajat bebas dapat diatasi oleh model pengaruh acak pada komponen μ_i . Asumsikan μ_i menyebar bebas stokastik identik Normal $(0, \sigma_\mu^2)$ dan ε_{it} menyebar bebas stokastik identik Normal $(0, \sigma_\varepsilon^2)$. X_{it} saling bebas dengan μ_i dan ε_{it} untuk setiap i dan t . Asumsi lain pada model pengaruh acak adalah individu dalam model dipilih secara acak dari populasi yang besar [4]. Model pengaruh acak memiliki persamaan

$$y_{it} = \alpha + X_{it}\beta + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

dengan penduga parameter menggunakan metode *Generalized Least Square* (GLS) yaitu,

$$\tilde{\beta} = (X' \hat{\Omega}^{-1} X)^{-1} X' \hat{\Omega}^{-1} y \quad (11)$$

$$var(\tilde{\beta}) = (X' \hat{\Omega}^{-1} X)^{-1} \quad (12)$$

$$\Omega = \begin{pmatrix} \Omega_{u,1} & \cdots & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ \mathbf{0} & & \Omega_{u,i} & & \mathbf{0} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} & \cdots & \Omega_{u,N} \end{pmatrix}_{NT \times NT} \quad \Omega_{u,i} = \begin{pmatrix} \sigma_u^2 & \sigma_\mu^2 & \cdots & \sigma_\mu^2 \\ \sigma_\mu^2 & \sigma_u^2 & \cdots & \sigma_\mu^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_\mu^2 & \sigma_\mu^2 & \cdots & \sigma_u^2 \end{pmatrix}_{T \times T}$$

dan $\sigma_u^2 = \sigma_\mu^2 + \sigma_\varepsilon^2$ dengan

$$\hat{\sigma}_u^2 = \frac{1}{NT} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \hat{u}_{it}^2, \quad \hat{\sigma}_\mu^2 = \hat{\sigma}_u^2 - \hat{\sigma}_\varepsilon^2, \quad \hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \frac{1}{NT-N} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (\hat{u}_{it} - \bar{\hat{u}}_i)^2 \quad (13)$$

$$\hat{u}_{it} = y_{it} - \tilde{\alpha} - X_{it} \tilde{\beta}, \quad \bar{\hat{u}}_i = 1/T \sum_{t=1}^T \hat{u}_{it} \quad (14)$$

[5].

2.4 Generalized Estimating Equation (GEE)

Perhatikan model linier berikut:

$$y_{it} = X_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

Pendekatan GEE pada model (15) menggunakan *quasi-score likelihood* untuk menduga parameter β . Persamaan *quasi-score likelihood* yaitu,

$$U = \sum_{i=1}^N D_i^T V_i^{-1} (y_i - E(y)) = \mathbf{0} \quad (16)$$

dengan $\mathbf{D}_i = \partial \mathbf{E}(\mathbf{y}) / \partial \boldsymbol{\beta}$, $\mathbf{V}_i = \mathbf{A}_i^{-\frac{1}{2}} \mathbf{R}_i \mathbf{A}_i^{-\frac{1}{2}} \phi$, \mathbf{A}_i adalah matriks diagonal dengan elemen $\text{var}(y_{it})$, \mathbf{R}_i adalah *working correlation matrix* y_i dan ϕ adalah konstanta [6].

Ada berbagai struktur umum *working correlation matrix* dalam pemodelan GEE yang dituangkan pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1 Struktur *working correlation matrix*

Struktur	Contoh
Independence	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}$
Exchangeable	$\begin{pmatrix} 1 & \rho & \dots & \rho \\ \rho & 1 & \dots & \rho \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho & \rho & \dots & 1 \end{pmatrix}$
Unstructured	$\begin{pmatrix} 1 & \rho_{1,2} & \dots & \rho_{1,t} \\ \rho_{1,2} & 1 & \dots & \rho_{2,t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{1,t} & \rho_{2,t} & \dots & 1 \end{pmatrix}$
Struktur	Contoh

Autoregressive	$\begin{pmatrix} 1 & \rho & \dots & \rho^{t-1} \\ \rho & 1 & \dots & \rho^{t-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho^{t-1} & \rho^{t-2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$
M-dependent	$\begin{pmatrix} 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{t-1} \\ \rho_1 & 1 & \dots & \rho_{t-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{t-1} & \rho_{t-2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$
Fixed	$\begin{pmatrix} 1 & r_{1,2} & \dots & r_{1,t} \\ r_{1,2} & 1 & \dots & r_{2,t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1,t} & r_{2,t} & \dots & 1 \end{pmatrix}$

[7]

3 METODE PENELITIAN

3.1 Bahan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder keadaan makroekonomi negara-negara ASEAN yang bersumber pada *ASEAN Development Bank* (www.adb.org/key-indicators/2011/country-tables (11 Mei 2012)). Data panel yang digunakan berasal dari lima negara anggota ASEAN yaitu Indonesia, Malaysia, Filipina, Thailand, dan Vietnam yang diukur dalam kurun waktu tahun 2007 hingga 2010.

Peubah yang diamati sebagai peubah respon Y adalah tingkat pengangguran, sedangkan peubah penjelasnya adalah GDP sektor pertanian (X1), industri (X2), dan *finance* (X3). Semua peubah memiliki satuan dalam persen.

Program yang digunakan dalam penelitian ini adalah program R versi 2.15.0. Paket yang digunakan yaitu, paket *plm* untuk regresi data panel dan paket *gee* untuk GEE.

3.2 Metode

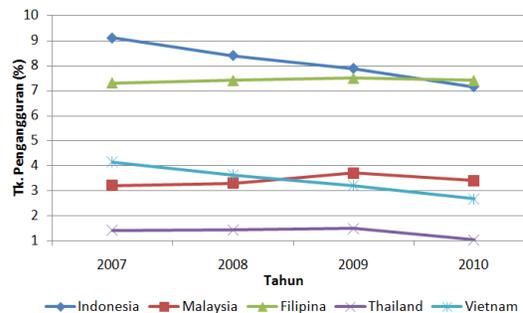
Tahapan analisis data yang dilakukan sebagai berikut:

1. Eksplorasi data
2. Pemodelan model pengaruh tetap, parameter diduga dengan metode *Least Square Dummy Variable (LSDV)*
3. Pemodelan model pengaruh acak, parameter diduga dengan metode *Generalize Least Square (GLS)*
4. Pemodelan GEE dengan *working correlation matrix: Autoregressive*
5. Melakukan perbandingan model dengan melihat nilai *R-square* dan *Mean Square Error (MSE)*.

4 PEMBAHASAN

4.1 Eksplorasi Data

Data tingkat pengangguran di lima negara anggota ASEAN disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Tingkat Pengangguran ASEAN-5

Gambar 1 menunjukkan bahwa tingkat pengangguran di kelima negara tersebut beragam. Indonesia dan Filipina memiliki tingkat pengangguran antara 7-10%, Malaysia dan Vietnam berkisar antara 2-5% sedangkan untuk Thailand berada pada selang 1-2% dengan beragam peningkatan maupun penurunan di tiap waktunya. Indonesia dan Filipina dapat dikatakan sebagai negara yang memiliki tingkat pengangguran tinggi sedangkan Thailand merupakan

negara dengan tingkat pengangguran terendah diantara kelima negara yang diamati. Tingkat pengangguran secara umum untuk keseluruhan negara mengalami penurunan.

Hubungan antara tingkat pengangguran dengan GDP pertanian, industri, dan *finance* di tiap negara menunjukkan beberapa pola kenaikan dan penurunan. GDP pertanian mempunyai pola pergerakan kenaikan maupun penurunan yang relatif sama dengan tingkat pengangguran di tiap negara sedangkan GDP industri dan *finance* mempunyai pola pergerakan yang berbeda. Pola pergerakan kenaikan maupun penurunannya relatif berlawanan di tiap negara. Hal ini dapat dikatakan bahwa semakin tinggi GDP industri maupun GDP *finance* akan menurunkan tingkat pengangguran. Pernyataan tersebut dapat dikuatkan dengan arah hubungan korelasi antara tingkat pengangguran dengan GDP industri dan GDP *finance* yang memiliki arah negatif di sebagian besar negara sedangkan arah hubungan korelasi tingkat pengangguran dengan GDP pertanian memiliki arah positif.

Hubungan antara tingkat pengangguran dengan GDP jika mengacu pada hukum Okun maka hubungan tingkat pengangguran dengan GDP adalah negatif. Hubungan tingkat pengangguran dengan GDP pertanian yang positif berlawanan dengan teori tersebut. Hal ini disebut dengan paradoks atau *puzzle* pertumbuhan-pengangguran. Salah satu penyebab terjadinya *puzzle* tersebut adalah besaran angka pertumbuhan ekonomi (GDP) masih relatif rendah dibandingkan rata-rata pertumbuhan ekonomi historis di lima negara ASEAN [7].

4.2 Pemodelan dengan Model Pengaruh Tetap

Hasil pendugaan dengan menggunakan model pengaruh tetap disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil pendugaan model pengaruh tetap

Peubah	Koefisien	SE	Nilai-p
Konstanta	-13.289	2.437	0.000
X1	0.786	0.243	0.007
X2	0.156	0.177	0.396
X3	0.501	0.483	0.320
nilai p			0.049
R ²			98.64 %
R ² adj			97.84 %
MSE			0.157

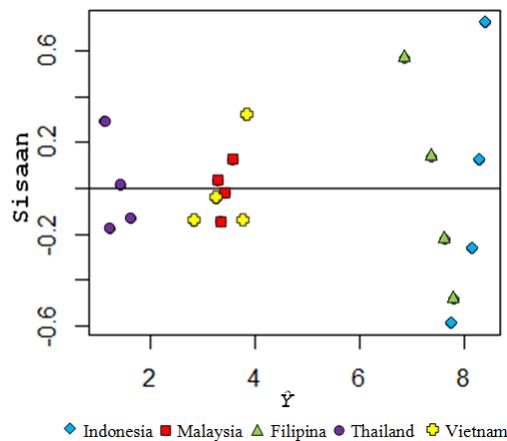
Model pengaruh tetap menghasilkan nilai R² sebesar 98.64% dan MSE sebesar 0.157. Menurut hasil tersebut dapat dikatakan bahwa 98.64% keragaman tingkat pengangguran

dapat dijelaskan oleh GDP pertanian, industri, dan *finance* di lima anggota negara ASEAN. Diagram pencar antara \hat{Y} dengan sisaan pada Gambar 2 menunjukkan bahwa plot terlihat menggerombol di tiap negara dengan ragam sisaan sebesar 0.157.

Model pengaruh tetap memberikan model dugaan untuk setiap negara yang dituliskan pada persamaan di bawah ini.

$$\hat{y}_i = -13.289 + 0.786X_1 + 0.156X_2 + 0.501X_3 + \mu_i$$

dengan $\mu_i' = (1.861, -1.956, 1.576, -2.270, -1.874)$



Gambar 2 Diagram pencar \hat{Y} dengan sisaan pada model pengaruh tetap

4.3 Pemodelan dengan Model Pengaruh Acak

Hasil pendugaan dengan menggunakan model pengaruh acak tersaji pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil pendugaan model pengaruh acak

Peubah	Koefisien	SE	Nilai-p
Konstanta	-10.532	7.095	0.157
X1	0.771	0.222	0.003
X2	0.096	0.123	0.447
X3	0.396	0.289	0.189
nilai p			0.024
R ²			90.99 %
R ² adj			85.74 %
MSE			0.778

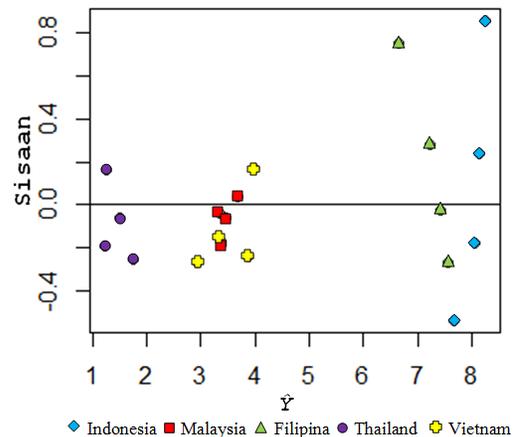
Model pengaruh acak menghasilkan nilai R² yang lebih kecil dari model pengaruh tetap yaitu 90.99%. Hal ini berarti model pengaruh tetap lebih besar dalam menjelaskan keragaman

tingkat pengangguran berdasarkan GDP pertanian, industri, dan *finance* di lima anggota negara ASEAN. MSE yang dihasilkan sebesar 0.778 lebih besar dari MSE model pengaruh tetap. Diagram pencar antara \hat{Y} dengan sisaan pada Gambar 3 memperlihatkan plot menggerombol di tiap negara seperti pada model pengaruh tetap namun jarak plot ke sisaan = 0 lebih lebar dibandingkan plot pada model pengaruh tetap.

Model pengaruh acak memberikan model dugaan untuk setiap negara yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\hat{y}_i = -10.532 + 0.771X_1 + 0.096X_2 + 0.396X_3 + \mu_i$$

dengan $\mu_i' = (1.883, -1.171, 3.664, -1.723, -2.653)$.



Gambar 3 Diagram pencar \hat{Y} dengan sisaan pada model pengaruh acak

4.4 Pemodelan dengan GEE

Model dengan metode pendugaan GEE tidak memiliki koefisien atau peubah yang menunjukkan pengaruh negara seperti μ_i pada model pengaruh tetap dan model pengaruh acak. Model yang dihasilkan GEE dalam penelitian ini memasukkan pengaruh negara dalam bentuk peubah *dummy*. Peubah tersebut dimasukkan ke dalam model tersebut. Peubah *dummy* untuk masing-masing negara dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Peubah *dummy* pada model dengan metode pendugaan GEE

Negara	Peubah			
	X4	X5	X6	X7
Indonesia	1	0	0	0
Malaysia	0	1	0	0
Filipina	0	0	1	0
Thailand	0	0	0	1
Vietnam	0	0	0	0

Hasil pendugaan dengan menggunakan GEE dapat dilihat pada Tabel 5. *Working correlation matrix* yang digunakan dalam pendugaan model ini adalah *autoregressive* karena data panel merupakan data yang memiliki unsur waktu.

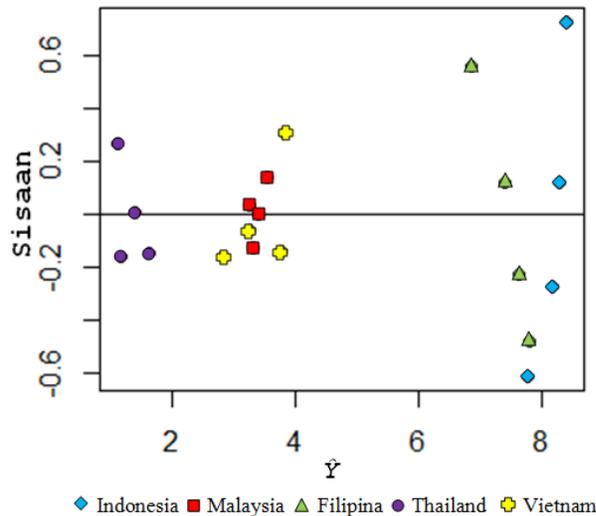
Tabel 5 Hasil pendugaan GEE

Peubah	Koefisien	SE	Nilai-p
Konstanta	-14.364	10.433	0.101
X1	0.775	0.355	0.011
X2	0.136	0.139	0.250
X3	0.452	0.264	0.126
X4	4.080	3.475	0.050
X5	0.561	6.838	0.453
X6	6.207	1.762	0.000
X7	0.066	4.365	0.493
nilai p			0.000
R ²			98.72 %
R ² adj			97.98 %
MSE			0.147

GEE menghasilkan nilai R² sebesar 98.72%. Hasil tersebut lebih besar dibandingkan dengan model pengaruh tetap dan model pengaruh acak sehingga model dengan metode pendugaan GEE lebih mampu menjelaskan keragaman tingkat pengangguran berdasarkan GDP pertanian, industri, dan *finance* di lima anggota negara ASEAN. Nilai MSE yang dihasilkan sebesar 0.147 lebih kecil daripada MSE pada model pengaruh tetap dan model pengaruh acak. Gambar 4 menunjukkan diagram pencar antara \hat{Y} dengan sisaan. Gambar tersebut memperlihatkan plot yang menggerombol di tiap negara seperti pada model pengaruh tetap dan model pengaruh acak namun jarak plot ke sisaan = 0 lebih dekat dibandingkan plot pada model pengaruh tetap dan model pengaruh acak.

GEE memberikan model dugaan yang dituliskan pada persamaan di bawah ini:

$$\hat{y}_i = -14.364 + 0.775X_1 + 0.136X_2 + 0.452X_3 + 4.080X_4 + 0.561X_5 + 6.207X_6 + 0.066X_7$$



Gambar 4 Diagram pencar \hat{Y} dengan sisaan pada GEE

4.5 Perbandingan Model

Hasil diagram pencar pada Gambar 2, 3, dan 4 menunjukkan bahwa plot antar negara model pengaruh tetap, model pengaruh acak, dan model dengan metode pendugaan GEE memiliki keragaman yang berbeda namun keragaman di dalam masing-masing negara tersebut dapat dikatakan homogen. Karakteristik penggerombolan atau pengelompokan plot negara di ketiga diagram pencar tersebut sama dengan yang digambarkan pada Gambar 1. Gerombol tersebut ada tiga yaitu, gerombol Thailand, gerombol Malaysia dengan Vietnam, dan gerombol Indonesia dengan Filipina. Penggerombolan tersebut terjadi karena tingkat pengangguran di masing-masing gerombol berbeda.

Hasil dugaan model dari model pengaruh tetap dan model pengaruh acak menunjukkan bahwa model pengaruh tetap lebih baik dari model pengaruh acak. R^2 model pengaruh tetap (98.64%) lebih besar daripada R^2 model pengaruh acak (90.99%) dan MSE model pengaruh tetap (0.157) lebih kecil daripada MSE model pengaruh acak (0.778).

GEE menghasilkan model dugaan dengan R^2 sebesar 98.72% dan MSE sebesar 0.147. Hasil tersebut lebih baik dibandingkan model pengaruh tetap dan model pengaruh acak. R^2 GEE lebih besar dan MSE GEE lebih kecil daripada model pengaruh tetap dan model

pengaruh acak. Sifat GEE yang mengakomodasi pengaruh korelasi karena pengulangan pengamatan telah mampu memperbaiki model pengaruh tetap.

Berdasarkan nilai R^2 dan MSE menunjukkan bahwa model GEE lebih baik dan paling cocok diterapkan pada kasus tingkat pengangguran di lima negara anggota ASEAN dengan tahun amatan dari tahun 2007 hingga 2010.

5 KESIMPULAN

Model terbaik dari tiga model data panel (model pengaruh tetap, model pengaruh acak, dan GEE) dalam penerapan pada kasus tingkat pengangguran di lima negara anggota ASEAN dengan tahun amatan dari tahun 2007 hingga 2010 adalah model dengan metode pendugaan GEE. Model yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$\hat{y}_i = -14.364 + 0.775X_1 + 0.136X_2 + 0.452X_3 + 4.080X_4 + 0.561X_5 + 6.207X_6 + 0.066X_7$$

Model tersebut menggunakan *working correlation matrix autoregressive* dan memiliki nilai R^2 sebesar 98.72% dan MSE sebesar 0.147.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hsiao C. 2003. *Analysis of Panel Data*. Ed ke-2. New York: Cambridge University Press.
- [2] Hardin JW, Hilbe JM. 2003. *Generalized Estimating Equation*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.
- [3] Baltagi BH. 2008. *Econometrics*. Ed ke-4. Liepzig: Springer.
- [4] Baltagi BH. 2005. *Econometrics Analysis of Panel Data*. Ed ke-3. England: John Wiley & Sons Ltd.
- [5] Wooldridge JM. 2003. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. London: The MIT Press
- [6] Dobson AJ. 2002. *Introduction to Generalized Linear Models*. Ed ke-2. New York: CRC Press.
- [7] Horton NJ, Lipsitz SR. 1999. Review of Software to Fit Generalized Estimating Equation Regression Models. *The American Statistician* 53, 160-169.

PENGARUH ULANGAN TERHADAP DUGAAN PARAMETER MODEL AMMI DENGAN KOMPUTASI MENGGUNAKAN PENDEKATAN BAYES

Gusti N.A. Wibawa¹, Aunuddin², A.A. Mattjik², I M Sumertajaya²

¹Jurusan Matematika FMIPA Universitas Haluoleo, Kendari
adhi_gst@yahoo.com

Jl. Pemuda 18A Wua-Wua Kendari

² Departemen Statistika Institut Pertanian Bogor, Bogor

ABSTRAK

Metode AMMI (*Additive Main effect and Multiplicative Interaction*) merupakan metode yang telah umum digunakan pada pemuliaan tanaman. Kehomogenan ragam galat merupakan salah satu asumsi yang harus dipenuhi pada metode ini. Namun, seringkali asumsi tersebut tidak terpenuhi. Pendekatan Bayes dapat digunakan untuk melakukan analisis data pada kondisi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ulangan terhadap efisiensi dugaan parameter model AMMI yang diperoleh melalui komputasi menggunakan pendekatan Bayes. Penelitian ini menggunakan data simulasi dengan dua, tiga dan empat ulangan. Sebaran prior yang digunakan adalah konjugat prior, sementara sebaran posterior diduga dengan Gibbs sampling. Berdasarkan nilai MSE (*Mean Square Error*), ulangan cenderung berpengaruh terhadap efisiensi nilai dugaan parameter model. Dalam menduga pengaruh interaksi genotipe dan lingkungan, pendekatan Bayes lebih efisien dibanding metode AMMI-S terutama AMMI-B jika digunakan pada data dengan ulangan yang sedikit.

Kata kunci: AMMI, pendekatan Bayes, kehomogenan ragam, sebaran prior, sebaran posterior, Gibbs sampling

1 PENDAHULUAN

Analisis AMMI merupakan analisis yang umum digunakan untuk menganalisis data percobaan yang melibatkan dua faktor dengan interaksi dalam pendugaan parameter model dan interpretasi faktor interaksi melalui biplot AMMI. Metode ini cukup populer digunakan untuk menduga daya hasil tanaman dan interpretasi kestabilan pada percobaan multilokasi.

Dengan semakin berkembangnya komputerisasi yang membantu mengatasi kesulitan perhitungan dalam menduga parameter suatu model yang rumit, mendorong semakin berkembangnya penggunaan metode Bayes untuk menduga parameter suatu model, salah satunya untuk pendugaan parameter model AMMI.

Kehomogenan ragam merupakan asumsi yang harus dipenuhi dalam melakukan analisis AMMI dengan metode standar (AMMI-S). Namun, pada prakteknya, pada percobaan

lokasi ganda asumsi kehomogenan ragam galat percobaan seringkali tidak terpenuhi, apalagi banyaknya lokasi yang digunakan sebagai lokasi percobaan relatif banyak sehingga sangat sulit untuk memperoleh data yang memenuhi asumsi ragam homogen.

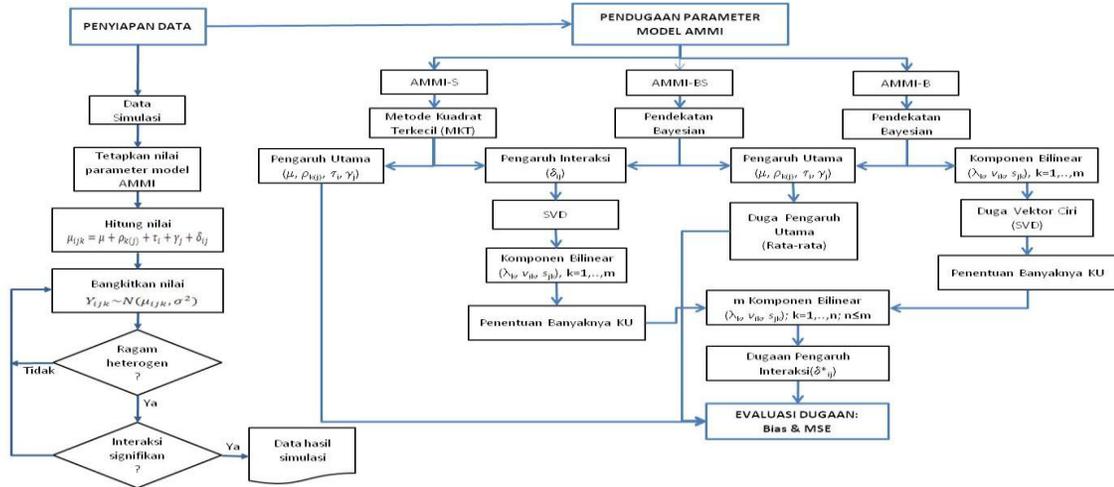
Viele dan Srinivasan [1] dan Liu [2] telah menggunakan pendekatan Bayes untuk menduga parameter model AMMI (AMMI-B). Pada metode ini, semua parameter model AMMI (nilai tengah, pengaruh genotif, pengaruh lokasi, akar ciri dan vektor ciri) diduga menggunakan pendekatan Bayes. Pendugaan parameter model diduga menggunakan tehnik MCMC melalui Gibbs sampling.

Komputasi Bayes juga digunakan oleh Silvianti [3] dalam menduga parameter model AMMI (AMMI-BS). Namun, Silvianti menerapkan komputasi Bayes hanya untuk menduga parameter pengaruh utama dan pengaruh interaksi, sedangkan pendugaan parameter bilinear seperti akar ciri dan vektor ciri tetap dihitung dengan SVD (*Singular Value Decomposition*).

Pada tulisan ini dilakukan pendugaan parameter model AMMI menggunakan pendekatan standar dan Bayes pada beberapa ulangan, dan evaluasi efisiensi hasil dugaan parameternya.

2 METODE PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu membangkitkan data yang memiliki ragam galat heterogen, menduga parameter model, dan mengevaluasi hasil dugaan parameter. Secara ringkas tahapan analisis yang dilakukan seperti yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

2.1 Data

Terdapat dua jenis data yang digunakan, yaitu data simulasi dan data riil hasil percobaan multilokasi. Data simulasi (y_{ijk}) diperoleh dengan membangkitkan data secara acak dimana $y_{ijk} \sim N(\eta_{ijk}, \sigma_j^2)$, $\eta_{ijk} = \mu + \rho_{k(j)} + \tau_i + \gamma_j + \delta_{ij}$, faktor A (genotipe) dan faktor B (lokasi) masing-masing sebanyak 8 dan 7 taraf, yang diulang tiga kali.

Untuk membangkitkan data, diberikan nilai ragam lokasi sebesar: 1.27, 0.17, 0.34, 0.71, 0.39, 0.32, dan 1.03. Sementara $\mu=6$ dan nilai parameter lainnya ($\rho, \tau, \gamma, \delta$) bervariasi dari -1,9 sampai dengan 1,63 dimana $\sum_{i=1}^a \tau_i = 0$, $\sum_{j=1}^b \gamma_j = 0$, $\sum_{k=1}^r \rho_{k(j)} = 0$, $\sum_{i=1}^a \delta_{ij} = 0$, dan $\sum_{j=1}^b \delta_{ij} = 0$.

2.2 Pendugaan parameter model

Metode AMMI merupakan metode yang telah umum digunakan untuk analisis data multilokasi [4]. Metode AMMI sangat efektif menjelaskan interaksi genotif dengan lingkungan. Metode ini merupakan gabungan antara analisis ragam pada pengaruh aditif dengan analisis komponen utama pada pengaruh multiplikatif. Pengaruh multiplikatif diperoleh dari penguraian interaksi genotif dengan lingkungan menjadi komponen utama interaksi (KUI). Model AMMI yang digunakan dalam percobaan multilokasi yakni:

$$y_{ijk} = \mu + \rho_{k(j)} + \tau_i + \gamma_j + \sum_{l=1}^m \sqrt{\lambda_l} v_{il} s_{jl} + \phi_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

dengan:

- y_{ijk} = respon dari genotif ke-i pada lingkungan ke-j dalam kelompok ke-k
 μ = nilai rata-rata umum
 τ_i = pengaruh genotif ke-i, $i=1,2,\dots,a$
 $\rho_{k(j)}$ = pengaruh kelompok ke-k tersarang pada lingkungan ke-j, $k=1,2,\dots,r$
 γ_j = pengaruh lingkungan ke-j, $j=1,2,\dots,b$
 $\sqrt{\lambda_l}$ = nilai singular untuk komponen bilinear ke-l, $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$
 v_{il} = pengaruh ganda genotif ke-i melalui komponen bilinear ke-l
 s_{jl} = pengaruh ganda lingkungan ke-j melalui komponen bilinear ke-l
 ϕ_{ij} = sisaan dari komponen bilinear
 ε_{ijk} = pengaruh sisaan dari genotif ke-i dalam kelompok ke-k yang dilakukan di lingkungan ke-j
 m = banyaknya KUI yang dipertahankan dalam model

a. Metode AMMI-S

Pada metode ini parameter nilai tengah dan pengaruh utama diduga menggunakan metode kuadrat terkecil, sementara komponen bilinear (akar ciri dan vektor ciri) diduga melalui penguraian nilai singular terhadap matriks dugaan pengaruh interaksi.

Dugaan pengaruh utama

Dengan metode AMMI-S, dugaan pengaruh utama yaitu:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{abr} \sum_i^a \sum_j^b \sum_k^r y_{ijk}, \quad \hat{\tau}_i = \frac{1}{br} \sum_j^b \sum_k^r y_{ijk} - \hat{\mu}, \quad \hat{\rho}_{k(j)} = \frac{1}{a} \sum_k^r \sum_j^b y_{jk} - \frac{1}{ar} \sum_j^b y_{j.},$$

$$\hat{\gamma}_j = \frac{1}{ar} \sum_i^a \sum_k^r y_{ijk} - \hat{\mu}, \quad \hat{\delta}_{ij} = \frac{1}{r} \sum_k^r y_{ijk} - \hat{\mu} - \hat{\tau}_i - \hat{\gamma}_j$$

Dugaan komponen bilinear

Untuk memperoleh nilai dugaan dari λ_l , v_l , dan s_l , dilakukan penguraian nilai singular terhadap $\hat{\delta}_{ij} = VLS^T$. Banyaknya komponen utama yang dipertahankan dalam model ditentukan dengan metode *postdictive success* (keberhasilan total) yaitu sesuai dengan banyaknya komponen utama yang nyata pada uji F analisis ragam.

b. Pendekatan Bayes

Metode Bayes merupakan salah satu metode pendugaan parameter yang memanfaatkan informasi awal tentang parameter yang akan diduga dan informasi dari contoh yang akan dikombinasikan membentuk suatu sebaran yang disebut sebagai sebaran posterior. Sebaran posterior ini merupakan sebaran dasar pengujian dalam metode Bayes [5]. Dalam AMMI, penggunaan pendekatan ini diawali dengan penentuan sebaran prior, pendugaan sebaran posterior, pendugaan parameter model, dan penentuan banyaknya komponen utama interaksi yang dipertahankan pada model. Khusus untuk AMMI-BS, akar ciri dan vektor ciri diduga dengan SVD berdasarkan dugaan pengaruh interaksi yang diperoleh melalui pendekatan Bayes.

Penentuan sebaran prior

Sebaran prior yang digunakan sebagai informasi awal yakni *conjugate prior* sebagai berikut:

$$\mu \sim N(0, w), \rho_j \sim N(0, wK_r K_r^T), \tau \sim N(0, wK_a K_a^T), \gamma \sim N(0, wK_b K_b^T),$$

$$\lambda_n \sim N^+(0, w), v_{in} \sim U(V_a^{a-n}), s_{jn} \sim U(V_b^{b-n}), \sigma^2 \sim IG(0.001, 0.001), \delta \sim N(0, w)$$

dengan $w = 1,0 \times 10^{15}$, $V_a^{a-n} = \{\mathbf{h} : \mathbf{h} \in \mathbf{R}^a, \mathbf{h}^T \mathbf{h} = 1, \text{ dan } \mathbf{h} \text{ ortogonal terhadap } \mathbf{1}_a, \mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_{n-1}\}$, dan $V_b^{b-n} = \{\mathbf{h} : \mathbf{h} \in \mathbf{R}^b, \mathbf{h}^T \mathbf{h} = 1, \text{ dan } \mathbf{h} \text{ ortogonal terhadap } \mathbf{1}_b, \mathbf{s}_1, \dots, \mathbf{s}_{n-1}\}$. K_m adalah sembarang matrik berukuran $m \times (m-1)$ dengan $K_m^T K_m = I_{m-1}$ dan $K_m K_m^T = I_m - \frac{1}{m} J_m$, dimana J_m adalah matrik berukuran $m \times m$ yang semua unturnya bernilai satu. Sebaran prior dari δ hanya digunakan pada AMMI-BS.

Pendugaan sebaran posterior

Sebaran posterior diduga dengan membangkitkan nilai dari setiap parameter model menggunakan *Gibbs Sampling* ([6], [7]). *Gibbs sampling* adalah suatu teknik untuk membangkitkan peubah acak dari sebaran (marjinal) secara tidak langsung tanpa perlu menghitung fungsi kepekatannya ([8]). Tahapan yang dilakukan:

- i. Tentukan nilai awal setiap parameter ($\hat{\mu}, \hat{\rho}_{k(j)}, \hat{\tau}_i, \hat{\gamma}_j, \hat{\lambda}_k, \hat{v}_k, \hat{s}_k, \hat{\sigma}^2$) menggunakan metode kuadrat terkecil untuk menduga nilai tengah dan pengaruh utama serta menggunakan penguraian nilai singular untuk menduga parameter bilinear.
- ii. Bangkitkan sebaran posterior setiap parameter model:

a) $\mu^{(l)}$ dari $\pi(\mu | \rho_{k(j)}^{(l-1)}, \tau_i^{(l-1)}, \gamma_j^{(l-1)}, \lambda_k^{(l-1)}, v_k^{(l-1)}, s_k^{(l-1)}, \sigma^{2(l-1)})$

$$\mu \sim N\left(\frac{rab\sigma_\mu^2 \bar{y}_{\dots} + \sigma^{2(l-1)} \mu_\mu}{rab\sigma_\mu^2 + \sigma^{2(l-1)}}, \frac{\sigma^{2(l-1)} \sigma_\mu^2}{rab\sigma_\mu^2 + \sigma^{2(l-1)}}\right)$$

b) $\sigma^{2(l)}$ dari $\pi(\sigma^2 | \mu^{(l)}, \rho_{k(j)}^{(l-1)}, \tau_i^{(l-1)}, \gamma_j^{(l-1)}, \lambda_k^{(l-1)}, v_k^{(l-1)}, s_k^{(l-1)})$

$$\sigma^2 \sim IG\left[\frac{abr}{2} + \alpha_\sigma, \beta_\sigma + \frac{1}{2} \sum_{ijk} \left(y_{ijk} - \mu^{(l)} - \rho_{k(j)}^{(l-1)} - \tau_i^{(l-1)} - \gamma_j^{(l-1)} - \sum_k \lambda_k^{(l-1)} v_k^{(l-1)} s_k^{(l-1)} \right)^2\right]$$

c) $\tau_i^{(l)}$ dari $\pi(\tau_i | \mu^{(l)}, \rho_{k(j)}^{(l-1)}, \gamma_j^{(l-1)}, \lambda_k^{(l-1)}, v_k^{(l-1)}, s_k^{(l-1)}, \sigma^{2(l)})$

$$\tau \sim N\left(\frac{rb\sigma_\tau^2 \hat{\tau} + \sigma^{2(l)} \mu_\tau}{rb\sigma_\tau^2 + \sigma^{2(l)}}, \frac{\sigma^{2(l)} \sigma_\tau^2}{rb\sigma_\tau^2 + \sigma^{2(l)}} K_a K_a^T\right)$$

d) $\gamma_j^{(l)}$ dari $\pi(\gamma_j | \mu^{(l)}, \rho_{k(j)}^{(l-1)}, \tau_i^{(l)}, \lambda_k^{(l-1)}, v_k^{(l-1)}, s_k^{(l-1)}, \sigma^{2(l)})$

$$\gamma \sim N\left(\frac{ra\sigma_\gamma^2 \hat{\gamma} + \sigma^{2(l)} \mu_\gamma}{ra\sigma_\gamma^2 + \sigma^{2(l)}}, \frac{\sigma^{2(l)} \sigma_\gamma^2}{ra\sigma_\gamma^2 + \sigma^{2(l)}} K_b K_b^T\right)$$

e) $\rho_{k(j)}^{(l)}$ dari $\pi(\rho_{k(j)} | \mu^{(l)}, \tau_i^{(l)}, \gamma_j^{(l)}, \lambda_k^{(l-1)}, v_k^{(l-1)}, s_k^{(l-1)}, \sigma^{2(l)})$

$$\rho_j \sim N\left(\frac{a\sigma_{\rho_j}^2 \hat{\rho} + \sigma^{2(l)} \mu_{\rho_j}}{a\sigma_{\rho_j}^2 + \sigma^{2(l)}}, \frac{\sigma^{2(l)} \sigma_{\rho_j}^2}{a\sigma_{\rho_j}^2 + \sigma^{2(l)}} K_r K_r^T\right)$$

- f) Bangkitkan parameter bilinear terurut untuk $k=1,2,\dots,m$:

- $\lambda_k^{(l)}$ dari

$$N\left(\frac{r\sigma_\lambda^2 \sum_{ij} v_{ik}^{(l-1)} s_{jk}^{(l-1)} \bar{y}_{ij} + \sigma^{2(l)} \mu_\lambda}{r\sigma_\lambda^2 + \sigma^{2(l)}}, \frac{\sigma^{2(l)} \sigma_\lambda^2}{r\sigma_\lambda^2 + \sigma^{2(l)}}\right) \mathbf{xI}_{[0, \lambda_{k-1}^{(l)}]}(\lambda_k^{(l)})$$

dengan asumsi $\lambda_0^{(l)} = \infty$ untuk semua l .

- $v_k^{(l)}$ dengan tahapan:

1) Dibangkitkan v_k^* dari $FM(a - k, \frac{rc_k \lambda_k^{(l)}}{\sigma^{2(l)}}, \tilde{v}_k)$

dengan FM = sebaran von-Mises Fisher ([9], [10], [11]).

2) Dihitung $v_k^{(l)} = H_k v_k^*$, dimana H_k adalah matriks dengan kolom ortonormal dan ortogonal terhadap $\mathbf{1}_a$ dan $v_1^{(l)}, \dots, v_{k-1}^{(l)}$ yang berukuran $a \times (a-k)$.

- $s_k^{(l)}$ dengan tahapan:

1) Dibangkitkan s_k^* dari $FM(b-k, \frac{rd_k \lambda_k^{(l)}}{\sigma^{2(l)}}, \tilde{s}_k)$

2) Dihitung $s_k^{(l)} = R_k s_k^*$, dimana R_k adalah matriks dengan kolom ortonormal dan ortogonal terhadap $\mathbf{1}_b$ dan $s_1^{(l)}, \dots, s_{k-1}^{(l)}$ yang berukuran $b \times (b-k)$.

iii. Bagian (ii) diulang m kali untuk memperbaiki

$$\theta^l = (\mu^{(l)}, \tau_i^{(l)}, \rho_{k(j)}, \gamma_j^{(l)}, \lambda_k^{(l)}, v_k^{(l)}, s_k^{(l)}, \sigma^{2(l)})$$

Pendugaan parameter model

Nilai dugaan untuk parameter selain vektor ciri yaitu ([2]):

$$\tilde{\mu} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \mu^{(l)} ; \quad \tilde{\tau}_i = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \tau_i^{(l)} ; \quad \tilde{\gamma}_j = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \gamma_j^{(l)} ; \quad \tilde{\rho}_{k(j)} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \rho_{k(j)}^{(l)} ; \quad \tilde{\lambda}_k = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \lambda_{ik}^{(l)}, k=1,2,\dots,m$$

Sementara vektor ciri (v atau s) diduga dengan tahapan sebagai berikut:

1. Dibuat matriks B yang berukuran $p \times q$ dengan $p \geq q$ dimana kolom dari B dibentuk dari vektor v_k atau s_k .

2. Dihitung $\bar{B} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m B^{(l)}$.

3. Dilakukan penguraian nilai singular untuk matriks \bar{B} sehingga diperoleh $\bar{B} = LDR^T$.

$\hat{B} = LR^T$ adalah matriks yang unsur kolomnya merupakan dugaan dari parameter v_k atau s_k .

Penentuan banyaknya komponen utama

Banyaknya komponen utama yang dipertahankan dalam model ditentukan menggunakan BIC (*Bayes Informaion Criteria*) yang bernilai minimum yaitu ([12]):

$$BIC(m) = -2\log L(\hat{\theta}) + q_t \log(N)$$

dengan $L(\hat{\theta})$ adalah fungsi kemungkinan maksimum dengan m komponen interaksi dan $q_t = a+b-1+b(r-1)+m(a+b-m-2)$ yaitu banyaknya parameter bebas pada model serta N adalah ukuran contoh efektif dari data, dimana untuk model AMMI $N=4r$ ([2]).

2.3 Evaluasi hasil dugaan parameter

Untuk mengevaluasi hasil dugaan parameter model AMMI digunakan dua kriteria yaitu:

1. Bias: $Bias(\hat{\theta}) = E(\hat{\theta}) - \theta$
2. MSE (Mean Square Error): $MSE(\hat{\theta}) = Var(\hat{\theta}) + Bias^2(\hat{\theta})$

dengan θ dan $\hat{\theta}$ berturut-turut merupakan nilai parameter dan dugaan parameter.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Dugaan parameter

Tabel menyajikan nilai dugaan beberapa parameter dari model AMMI pada data dengan dua hingga empat ulangan. Terdapat kemiripan nilai dugaan parameter nilai tengah (μ) dan pengaruh utama (τ , γ , dan ρ) antara tiga metode yang digunakan. Kondisi ini berlaku untuk data dengan 2, 3, atau 4 ulangan. Demikian juga dengan nilai simpangan baku dari dugaan parameter dari ketiga metode yang digunakan. Sebagai ilustrasi pada data dengan dua ulangan, untuk nilai tengah diberikan nilai parameter sebesar 6, diperoleh nilai dugaan sebesar 6,044 dengan simpangan baku 0,073 dari setiap metode yang digunakan. Hasil yang hampir sama juga diperoleh untuk dugaan pengaruh utama.

Hasil yang relatif berbeda dijumpai pada nilai dugaan pengaruh interaksi genotipe dan lingkungan. Secara umum ada kecenderungan diperoleh hasil dugaan nilai parameter dan simpangan baku yang berbeda antara AMMI-S dengan pendekatan Bayes. Sebagai ilustrasi untuk dua ulangan, nilai dugaan dari δ_{11} menggunakan AMMI-S yaitu sebesar -0,834 dengan simpangan baku 0,574. Sedangkan nilai dugaan dari δ_{11} dengan AMMI-BS dan AMMI-B nilainya berturut-turut yaitu -0,850 dan -0,842 dengan simpangan baku yaitu sebesar 0,568 dan 0,563.

Tabel 1 Dugaan nilai rata-rata dan simpangan baku beberapa parameter model AMMI

Ulangan	Parameter	Nilai Parameter	Dugaan parameter			Simpangan Baku		
			AMMI-S	AMMI-BS	AMMI-B	AMMI-S	AMMI-BS	AMMI-B
2	μ	6,00	6,044	6,044	6,044	0,073	0,073	0,073
	τ_1	0,00	0,001	0,001	0,002	0,210	0,209	0,210
	τ_8	-0,18	-0,351	-0,351	-0,351	0,208	0,208	0,209
	γ_1	-0,71	-0,171	-0,171	-0,171	0,197	0,196	0,197
	γ_7	0,92	1,062	1,062	1,063	0,214	0,214	0,213
	$\rho_{1(1)}$	-0,04	-0,035	-0,035	-0,034	0,288	0,289	0,288
	$\rho_{7(2)}$	0,14	0,038	0,037	0,036	0,257	0,258	0,257
	δ_{11}	-0,87	-0,834	-0,850	-0,842	0,574	0,568	0,563
	δ_{78}	-0,75	-0,660	-0,805	-0,771	0,613	0,624	0,622
3	μ	6,00	6,005	6,005	6,005	0,068	0,068	0,068
	τ_1	0,00	0,005	0,004	0,005	0,151	0,151	0,151
	τ_8	-0,18	-0,155	-0,155	-0,155	0,176	0,176	0,176
	γ_1	-0,71	-0,683	-0,683	-0,683	0,196	0,195	0,196
	γ_7	0,92	0,915	0,915	0,914	0,192	0,191	0,191
	$\rho_{1(1)}$	0,04	0,069	0,070	0,068	0,302	0,302	0,303
	$\rho_{7(3)}$	-0,36	-0,378	-0,379	-0,379	0,303	0,304	0,304
	δ_{11}	-0,87	-0,862	-0,874	-0,858	0,490	0,497	0,489
	δ_{78}	-0,75	-0,684	-0,691	-0,683	0,475	0,487	0,472
4	μ	6,00	6,001	6,001	6,001	0,053	0,053	0,053
	τ_1	0,00	-0,015	-0,015	-0,015	0,128	0,128	0,129
	τ_8	-0,18	-0,183	-0,182	-0,183	0,141	0,141	0,142
	γ_1	-0,71	-0,690	-0,689	-0,689	0,176	0,176	0,175
	γ_7	0,92	0,926	0,926	0,925	0,155	0,155	0,155
	$\rho_{1(1)}$	0,14	0,172	0,172	0,172	0,344	0,345	0,344
	$\rho_{7(4)}$	-0,10	-0,109	-0,109	-0,110	0,317	0,318	0,317
	δ_{11}	-0,87	-0,730	-0,753	-0,744	0,506	0,485	0,494
	δ_{78}	-0,75	-0,587	-0,623	-0,602	0,429	0,420	0,419

3.2 Evaluasi hasil dugaan

Untuk mengevaluasi hasil dugaan parameter model dapat dilihat dari nilai bias dan MSE. Berdasarkan Tabel dapat dilihat bahwa nilai dugaan dari parameter nilai tengah dan pengaruh utama relatif sama antar ketiga metode. Dengan demikian, nilai bias dari dugaan parameter yang diperoleh melalui ketiga metode juga tidak jauh berbeda. Namun berbeda halnya dengan dugaan pengaruh interaksi, bias dugaan parameter antar ketiga metode cukup bervariasi.

Pada Tabel disajikan rata-rata bias mutlak dan MSE dari dugaan parameter model AMMI. Pada data dengan dua ulangan, rata-rata bias mutlak untuk dugaan nilai rata-rata sama antara ketiga metode. Sementara nilai rata-rata bias mutlak untuk pengaruh utama dari ketiga metode hampir sama. Hal ini juga terjadi untuk tiga dan empat ulangan. Sebaliknya untuk nilai rata-rata bias mutlak dari pengaruh interaksi, AMMI-B lebih kecil daripada AMMI-BS dan AMMI-S. Demikian juga dengan nilai MSE dari pengaruh interaksi, AMMI-B memberikan rata-rata nilai MSE terkecil.

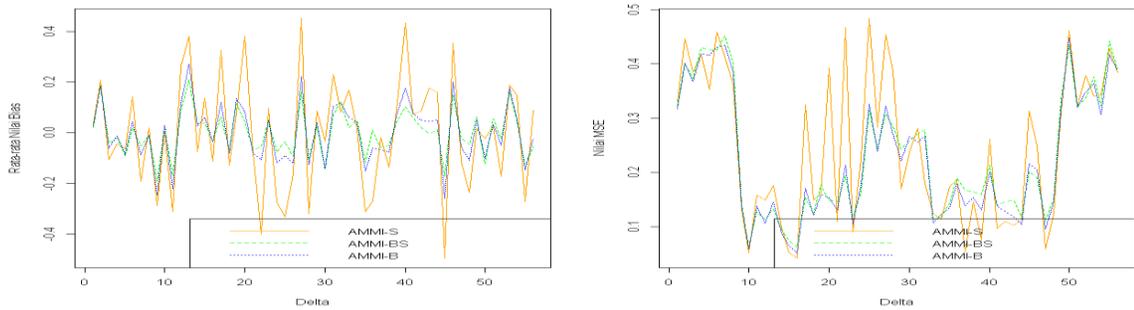
Tabel 2 Rata-rata bias mutlak dan rata-rata MSE

Ulangan	Parameter	Rata-rata Bias Mutlak			MSE		
		AMMI-S	AMMI-BS	AMMI-B	AMMI-S	AMMI-BS	AMMI-B
2	μ	0,0440	0,0440	0,0440	0,0073	0,0073	0,0073
	ρ	0,1071	0,1071	0,1071	0,0538	0,0539	0,0539
	τ	0,0144	0,0142	0,0145	0,0390	0,0391	0,0391
	γ	0,1205	0,1204	0,1207	0,0471	0,0471	0,0472
	δ	0,1780	0,0740	0,0975	0,2446	0,2306	0,2249
3	μ	0,0050	0,0050	0,0051	0,0047	0,0047	0,0047
	ρ	0,0227	0,0227	0,0225	0,0530	0,0530	0,0530
	τ	0,0129	0,0128	0,0129	0,0247	0,0248	0,0248
	γ	0,0110	0,0111	0,0113	0,0227	0,0226	0,0226
	δ	0,1491	0,1082	0,1275	0,1783	0,1684	0,1698
4	μ	0,0011	0,0011	0,0010	0,0028	0,0028	0,0028
	ρ	0,0174	0,0175	0,0176	0,0610	0,0611	0,0611
	τ	0,0119	0,0117	0,0123	0,0182	0,0182	0,0183
	γ	0,0126	0,0129	0,0125	0,0157	0,0157	0,0157
	δ	0,0955	0,0788	0,0997	0,1430	0,1400	0,1414

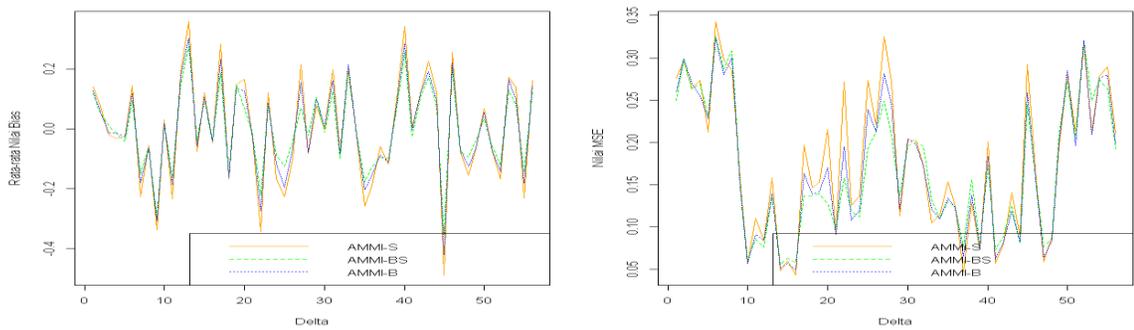
Pada **Error! Reference source not found.**a dapat dilihat bahwa kisaran nilai bias dari δ (pengaruh interaksi) pada pendekatan Bayes cenderung lebih kecil dibandingkan dengan AMMI-S. Demikian juga dengan nilai MSE, sebagian besar nilai MSE dari δ yang diperoleh menggunakan pendekatan Bayes lebih kecil dari nilai MSE δ yang diperoleh menggunakan metode AMMI-S. Informasi ini mengindikasikan bahwa pendekatan Bayes lebih efisien dalam menduga pengaruh interaksi dibandingkan dengan metode AMMI-S pada data dengan dua ulangan. Hasil yang hampir sama juga diperoleh untuk data dengan tiga dan

empat ulangan, hanya saja perbedaan nilai bias dan MSE antara ketiga metode makin kecil dengan bertambahnya ulangan.

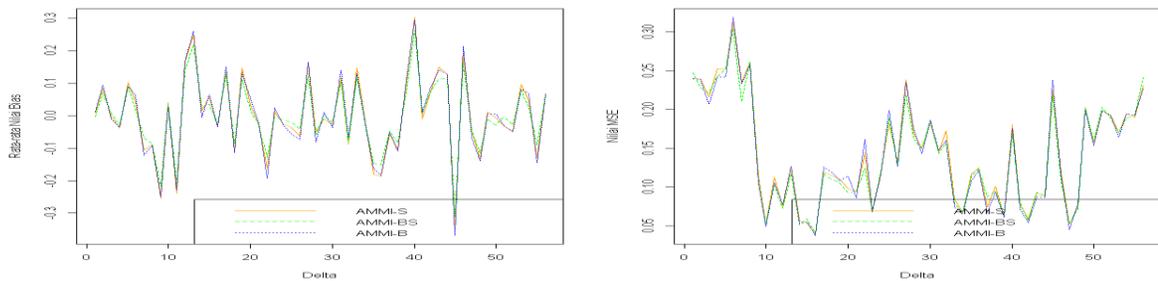
(a)



(b)



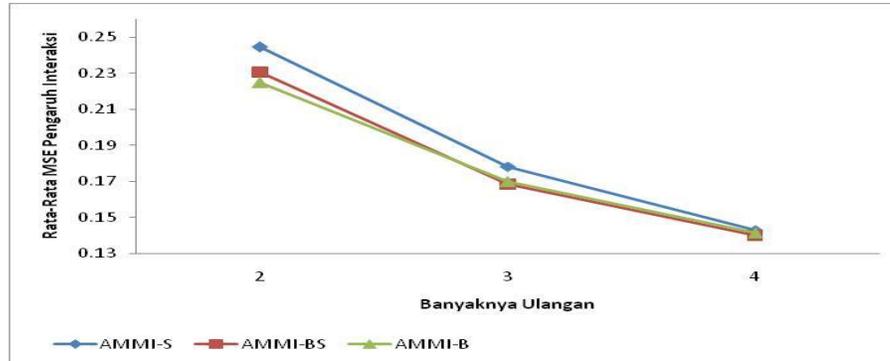
(c)



Gambar 2 Nilai rata-rata bias dan MSE dari dugaan parameter pengaruh interaksi (a= data dengan 2 ulangan, b= data dengan 3 ulangan, c= data dengan 4 ulangan)

3.3 Pengaruh ulangan terhadap efisiensi dugaan parameter

Berdasarkan nilai MSE, efisiensi metode yang digunakan cenderung dipengaruhi oleh banyaknya ulangan yang digunakan dari suatu percobaan. Makin sedikit ulangan yang digunakan, ada kecenderungan pendekatan Bayes semakin efisien (Gambar). Misalkan ulangan yang digunakan pada setiap lokasi yaitu dua ulangan, rata-rata MSE yang diperoleh pada metode AMMI-B, AMMI-BS dan AMMI-S berturut-turut 0,2249, 0,2306, dan 0,2446. Terdapat pengurangan MSE pada AMMI-B sekitar 8% dan MSE AMMI-BS sekitar 6% terhadap AMMI-S. Namun, jika banyaknya ulangan ditambah, maka persentase pengurangan rata-rata MSE pendekatan Bayes terhadap metode standar mengalami penurunan.



Gambar 3 Hubungan banyaknya ulangan dengan nilai MSE

4 KESIMPULAN

Efisiensi dari metode AMMI-S, AMMI-BS dan AMMI-B dalam menduga parameter nilai rata-rata dan pengaruh utama dari model AMMI relatif sama. Sedangkan dalam menduga pengaruh interaksi genotipe dan lingkungan pendekatan Bayes lebih efisien dibanding metode AMMI-S terutama AMMI-B jika digunakan pada data dengan ulangan yang sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Viele K and Srinivasan C. 1999. Parsimonious estimation of Multiplicative Interaction in Analysis of Variance using Kullback-Leiber Information. <http://sclab.yonsei.ac.kr/publications/Papers/DJ/E01002220577/B1/D.pdf>. [16 Mei 2009].
- [2] Liu G. 2001. Bayesian Computation for Linear-Bilinear Model. [Disertasi]. Kentucky: University of Kentucky.
- [3] Silvianti P. 2009. Pendekatan Metode Bayes untuk Pendugaan Pengaruh Interaksi pada Model AMMI. [Tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.
- [4] Gauch HG Jr. 2006. Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE. *Crop Science* 46:1488–1500.
- [5] Berger JO. 1985. *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis*, 2nd ed. Springer Verlag. NY.
- [6] Hoff PD. 2009. *A First Course in Bayesian Statistical Methods*. New York: Springer.
- [7] Walsh B. 2004. Markov Chain Monte Carlo and Gibbs Sampling. http://membres-timc.imag.fr/Olivier.Francois/mcmc_gibbs_sampling.pdf. [12 November 2010].
- [8] Casella G and George EI. 1992. Explaining the Gibbs sampler. *American Statistician* 46: 167-174. <http://www.jstor.org/stable/2685208?origin=JSTOR-pdf> [29 Mei 2009].
- [9] Mardia KV and Jupp PE. 2000. *Directional Statistics*. John Wiley & Sons Ltd. England.
- [10] Dhillon IS and Sra S. 2003. Modeling Data using Directional Distributions. http://www.cs.utexas.edu/users/inderjit/public_papers/tr03-06.pdf. [16 Maret 2011].
- [11] Nuñez-antonio G and Gutiérrez-peña E. 2005. A Bayesian Analysis of Directional Data Using the von Mises-Fisher Distribution. *Communications in Statistics - Simulation and Computation* 34(4):989 – 999.
- [12] Konishi S and Kitagawa G. 2008. *Information Criteria and Statistical Modeling*. New York: Springer.

**REGRESI POISSON TERBOBOTI GEOGRAFIS UNTUK MENGANALISIS
DATA GIZI BURUK
(Studi Kasus: Pulau Jawa tahun 2008)**

Didin Saepudin, Asep Saefuddin

Departemen Statistika – FMIPA IPB
Email: saepudin.ipb08@gmail.com

ABSTRAK

Regresi poisson merupakan metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara peubah respon dan peubah penjelas, dimana peubah respon berbentuk data cacahan. Pendugaan parameter yang dihasilkan adalah homogen untuk semua observasi. Namun, khusus pada data spasial pendugaan seperti ini akan menghasilkan pendugaan yang bias. Alasannya, Penduga parameter di setiap lokasi akan bervariasi karena dipengaruhi faktor kewilayahan atau geografis. Hal inilah yang dinamakan keragaman spasial atau keadaan spasial non-stasioner. Analisis yang cocok digunakan untuk data seperti ini adalah model Regresi Poisson Terboboti Geografis (RPTG). Pendugaan parameter RPTG ini menggunakan matriks pembobot dimana nilai matriks ini tergantung pada kedekatan antar lokasi pengamatan. Iterasi nilai Fisher digunakan karena pendugaan parameternya bersifat iteratif. Kasus yang diambil dalam penelitian ini adalah kasus gizi buruk. Kasus ini diambil karena banyaknya penderita gizi buruk merupakan data cacahan dan faktor tidak langsung dari perbedaan banyaknya penderita gizi buruk di setiap daerah dimungkinkan karena faktor spasial. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model RPTG merupakan model yang lebih baik dibandingkan model global sesuai kriteria perbedaan nilai AICc. Kemiskinan merupakan faktor dominan terhadap jumlah penderita gizi buruk di suatu daerah. Interpretasi dari hasil analisis ini disajikan dalam peta keragaman spasial.

Kata kunci: spasial non-stasioner, Regresi Poisson Terboboti Geografis (RPTG), matriks pembobot, peta keragaman spasial

1 PENDAHULUAN

Regresi Poisson adalah metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara peubah respon dan peubah penjelas, dimana peubah respon dalam bentuk data cacahan dan diasumsikan menyebar Poisson. Sebagai contoh, kasus pada hubungan antara tingkat kejadian penyakit kanker rahim dan aspek sosial ekonomi di Inggris [8]. Dalam pendugaan parameternya, regresi ini mengasumsikan bahwa persamaan regresi untuk seluruh observasi atau titik regresi adalah sama. Hal ini termasuk dalam asumsi kehomogenan [7].

Namun, ada suatu masalah jika observasi tersebut dalam data kewilayahan atau regional. Data seperti ini termasuk data spasial. Jika data spasial dianalisis dengan

menggunakan regresi Poisson, maka keragaman antar daerah akan dihilangkan. Penghilangan keragaman spasial lokal dalam pendugaan parameter akan menghasilkan penduga yang berbias [8]. Di samping itu, adanya keragaman spasial lokal cukup penting, seperti sebagai informasi yang mungkin memberikan pengaruh penting kepada pembuat kebijakan.

Dalam kasus kondisi spasial, hal ini mengarah pada kondisi spasial non-stasioner [12]. Regresi Poisson Terboboti Geografis (RPTG) menjadi analisis yang tepat jika data dalam kondisi non-stasioner dan peubah respon diasumsikan menyebar Poisson. Model RPTG menggunakan matriks pembobot yang tergantung dengan kedekatan lokasi amatan. Dalam penelitian ini, iterasi nilai Fisher digunakan untuk menduga parameter RPTG yang bersifat iteratif dan penggunaan fungsi kernel adaptif kuadrat ganda untuk mencari matriks pembobot yang diharapkan. Fungsi kernel ini menentukan matriks pembobot berdasarkan lebar jendela (*bandwith*) yang beragam sesuai dengan kondisi amatan.

Data gizi buruk di pulau Jawa telah dipilih untuk penelitian ini. Alasannya yaitu banyaknya penderita gizi buruk merupakan data cacahan dan diasumsikan menyebar Poisson. Selain itu, kejadian gizi buruk merupakan kejadian yang jarang terjadi. Berdasarkan data dari [2], terdapat perbedaan prevalensi gizi buruk di masing-masing provinsi di pulau Jawa. Prevalensi gizi buruk berdasarkan indikator Berat badan/Umur (BB/U) di provinsi Jawa Timur (4,8%), Banten (4,4%), Jawa Tengah (4,0%), Jawa Barat (3,7%), DKI Jakarta (2,9%), dan Jogjakarta (2,4%). Perbedaan ini dapat berhubungan dengan fenomena keragaman spasial. Keragaman dalam prevalensi gizi buruk di tiap provinsi dimungkinkan akan beragam pula di tingkat kabupaten atau kota. Menurut [10], faktor tidak langsung untuk kasus gizi buruk yaitu ketersediaan pangan, sanitasi, pelayanan kesehatan, pola asuh, kemampuan daya beli keluarga, pendidikan dan pengetahuan. Faktor-faktor tersebut dapat disebabkan oleh aspek geografis. Selain itu, penanganan terhadap kasus ini menjadi sangat penting karena gizi buruk secara langsung maupun tidak langsung akan menurunkan tingkat kecerdasan anak, terhambatnya pertumbuhan dan perkembangan anak serta menurunkan produktivitas.

Dalam penelitian ini, peneliti telah membuat persamaan model lokal untuk masing-masing kabupaten dan kota di pulau Jawa. Selain itu, peneliti juga telah membuat peta keragaman spasial untuk mempermudah dalam interpretasi penduga parameter lokal.

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Membandingkan model yang lebih baik antara model regresi Poisson dan model RPTG untuk data gizi buruk.
2. Membuat model lokal RPTG.
3. Membuat peta keragaman spasial.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Pengertian Gizi buruk

Gizi buruk adalah keadaan kurang zat gizi tingkat berat yang disebabkan oleh rendahnya konsumsi energi dan protein dalam waktu cukup lama yang ditandai dengan tidak sesuainya berat badan dengan umur [3]. faktor tidak langsung untuk kasus gizi buruk yaitu ketersediaan pangan, sanitasi, pelayanan kesehatan, pola asuh, kemampuan daya beli keluarga, pendidikan dan pengetahuan [10].

1.2.2 Model Regresi Poisson

Model standar untuk data cacahan adalah model regresi Poisson, dimana model ini merupakan model regresi nonlinier. Model regresi ini diturunkan dari sebaran Poisson parameter μ yang tergantung pada peubah penjelas [8].

Persamaan regresi Poisson dapat dirumuskan:

$$\ln \mu_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_{(p-1)} x_{i(p-1)} = \mathbf{x}_i' \boldsymbol{\beta} \quad (1)$$

dimana,

$$i=1,2,\dots,n ; \mu_i = E(y_i | \mathbf{x}_i) = \exp(\mathbf{x}_i' \boldsymbol{\beta}) ; \mathbf{x}_i' = [1, x_{i1}, \dots, x_{ik}] ; \boldsymbol{\beta}' = [\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}]$$

p adalah banyaknya parameter regresi. μ_i adalah nilai harapan dari sebaran Poisson untuk amatan ke- i [11].

1.2.3 Uji Breusch-Pagan (uji BP)

Bentuk umum dari heteroskedastisitas dapat dituliskan sesuai persamaan:

$$E(u_i^2 | \mathbf{x}) = \alpha_1 x_{1i} + \alpha_2 x_{2i} + \dots + \alpha_k x_{ki} \quad (2)$$

dimana $\boldsymbol{\alpha}' = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)'$ adalah sekumpulan konstanta. x_1 adalah konstanta regresi and x_2, \dots, x_k peubah penjelas. Hipotesis Uji Breusch-Pagan yaitu:

$$H_0 : \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_k = 0$$

$$H_1 : \exists_i, \text{ dimana } \alpha_i \neq 0 ; (i=2,3,\dots,k)$$

Hipotesis nol di atas dapat bermakna $\sigma_i^2 = \alpha_1 = \text{konstan}$. Statistik uji Breusch-Pagan yaitu:

$$BP = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^n x_i f_i \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i f_i \right) \quad (3)$$

dimana,

$$f_i = \frac{\hat{u}_i}{\hat{\sigma}} - 1 ; \hat{u}_i = (y_i - \hat{\beta}' \mathbf{x}_i) ; \hat{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^n \hat{u}_i^2$$

Statistik uji BP di atas terdistribusi Khi-kuadrat (χ^2) dengan derajat bebas $k-1$ (k adalah banyaknya peubah penjelas). Hipotesis alternatif dari uji BP menunjukkan adanya kondisi heteroskedastisitas [1].

1.2.4 Kestasioneran Parameter

Data disebut dalam kondisi stasioner jika data tersebut homogen pada semua daerah amatan, sebaliknya jika data tersebut bersifat heterogen maka disebut non-stasioner [15]. Fenomena ini disebut sebagai spasial non-stasioner [12]. Dalam kasus spasial nonstasioner, faktor penentu yang sama dengan respon yang berbeda pada area yang berbeda menggunakan pendekatan model spesifik lokal yang mana merupakan kebalikan dari model global [15].

1.2.5 Regresi Poisson Terboboti Geografis

Model Regresi Poisson Terboboti Geografis (RPTG) adalah model yang dikembangkan dari Regresi terboboti Geografis (RTG) dimana model ini merupakan sebuah teknik yang membawa kerangka model regresi yang sederhana menjadi model regresi terboboti. Model Regresi Terboboti Geografis (RTG) adalah pengembangan dari model regresi dimana setiap parameter dihitung pada setiap lokasi pengamatan, sehingga setiap lokasi pengamatan mempunyai nilai parameter regresi yang berbeda-beda [12]. Koefisien RTG dapat diduga dengan penyesuaian model regresi Poisson yang memiliki fungsi kemungkinan terboboti secara geografis, dengan sebuah fungsi pembobot Kernel yang berpusat di \mathbf{u}_i (\mathbf{u}_i adalah vektor ordinat lintang dan bujur suatu lokasi (u_i, v_i)) [14].

Dengan menggunakan iterasi fisher, maka persamaan model RPTG [14] yang telah konvergen dapat dirumuskan:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (\mathbf{X}' \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{A}(u_i, v_i) \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}' \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{A}(u_i, v_i) \mathbf{z}(u_i, v_i) \quad (4)$$

dimana,

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ 1 & x_{31} & x_{32} & \dots & x_{3k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix}$$

\mathbf{X}' = Matriks kebalikan dari \mathbf{X}

$\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i)$ = Vektor penduga parameter lokal pada lokasi i

$\mathbf{W}(u_i, v_i)$ = Diagonal dari matriks pembobot spasial untuk lokasi ke- i

$\mathbf{A}(u_i, v_i)$ = Matriks pembobot ragam yang berhubungan dengan nilai Fisher untuk lokasi ke- i

$\mathbf{z}(u_i)$ = Vektor peubah respon yang terkoreksi pada lokasi ke- i

1.2.6 Uji Signifikansi Parameter RPTG

Hipotesis untuk menguji signifikansi penduga parameter lokal ke- k yaitu:

$$H_0 : \beta_k(u_i, v_i) = 0$$

$$H_1 : \exists k, \text{ dimana } \beta_k(u_i, v_i) \neq 0 ; (k=0,1,2,\dots,(p-1))$$

Statistik uji t untuk penduga parameter lokal ke- k dihitung dengan persamaan:

$$t_k(u_i, v_i) = \frac{\beta_k(u_i, v_i)}{Se(\beta_k(u_i, v_i))} \quad (5)$$

Ambang p -value yang biasa digunakan untuk uji signifikansi ini ketika nilai $|t| > 1,96$ untuk pengujian pada taraf 5% dengan ukuran contoh besar [15].

1.2.7 Fungsi Pembobot Kernel

Fungsi pembobot kernel yang digunakan dalam penelitian ini adalah fungsi pembobot kernel adaptif kuadrat ganda. Tipe kernel adaptif sendiri akan melebar dan menyempit sesuai dengan rapat atau tidaknya antar lokasi amatan, berbeda dengan tipe kernel tetap yang akan menentukan satu nilai bandwidth tanpa memperhatikan rapat atau tidaknya antar lokasi amatan. Fungsi pembobot kernel adaptif kuadrat ganda dapat dituliskan dengan persamaan:

$$w_{ij} = \begin{cases} [1 - (d_{ij} / b_{i(k)})]^2 ; & d_{ij} \leq b_{i(k)} \\ 0 ; & d_{ij} > b_{i(k)} \end{cases} \quad (6)$$

Dimana w_{ij} adalah nilai pembobot pada lokasi j untuk menduga koefisien regresi di lokasi ke- i . D_{ij} adalah jarak *eucledian* antara titik regresi ke- i dengan ke- j dan $b_{i(k)}$ adalah ukuran *bandwidth* adaptif untuk jarak hingga ke- k lokasi tetangga terdekat [12].

1.2.8 Akaike Information Criterion (AIC) Akaike Information Criterion corrected (AICc)

Akaike Information Criterion (AIC) dan Akaike Information Criterion corrected (AICc) suatu model dengan bandwidth b dituliskan dalam persamaan:

$$AIC(b) = D(b) + 2K(b) \quad (7)$$

$$AICc(b) = AIC(b) + \frac{2[K(b)(K(b)+1)]}{n-K-1} \quad (8)$$

dimana D dan K adalah devians dan banyaknya parameter efektif model dengan *bandwidth* b . Model dengan AIC yang paling kecil adalah model yang optimal. Jika ukuran contoh besar, dengan perbandingan ukuran contoh (n) dan banyaknya parameter efektif (K) kurang dari 40 ($n/K < 40$), maka penggunaan AIC terkoreksi (AICc) sangat direkomendasikan [5]. Namun, jika n/K sangat besar ($n/K > 40$), maka AIC dan AICc sama kuatnya. Perbedaan AICc antara dua model sebesar 2 menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antara dua model tersebut, sebaliknya jika perbedaan AICc kurang dari atau sama dengan 2 maka kedua model sama baiknya [14]. Baik AIC dan AICc dapat pula digunakan untuk memilih *bandwidth* optimum dengan kriteria AIC dan AICc minimum [12].

2 BAHAN DAN METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Data Potensi Desa (PODES) tahun 2008. Daerah yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 112 kabupaten dan kota di Pulau Jawa (tidak termasuk kabupaten di pulau Madura dan Kepulauan Seribu).

Peubah respon (Y) yang digunakan dalam penelitian ini adalah banyaknya penderita gizi buruk di tiap kabupaten dan kota di pulau Jawa dalam kurun tiga tahun terakhir. Sedangkan, peubah penjelas yang digunakan sebanyak 14 peubah penjelas yang terbagi menjadi empat aspek dengan keterangan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Deskripsi peubah penjelas yang digunakan dalam pemodelan

Aspek	Peubah	Deskripsi	Satuan
Kemiskinan	X1	Jumlah keluarga yang anggotanya buruh tani	Keluarga
	X2	Jumlah keluarga yang tinggal di bantaran sungai	Keluarga
	X3	Jumlah keluarga yang tinggal di pemukiman kumuh	Keluarga
	X4	Jumlah keluarga yang menerima kartu ASKESKIN dalam setahun terakhir	Keluarga
Kesehatan	X5	Jumlah bidan	Orang
	X6	Jumlah dokter	Orang
	X7	Jumlah Posyandu	Unit
	X8	Rasio Jumlah desa yang memiliki Posyandu yang aktif dengan jumlah total desa	Unit/Desa
Pendidikan	X9	Jumlah <i>mantri kesehatan</i> dan <i>dukun bayi</i>	Orang
	X10	Jumlah bangunan SD atau yang sederajat	Unit
	X11	Jumlah bangunan SMP atau yang sederajat	Unit
	X12	Jumlah desa yang melakukan pemberantasan buta aksara dalam setahun terakhir	Desa
Pangan	X13	Luas area pertanian yang digunakan untuk sawah	100 Ha
	X14	Jumlah desa yang sebagian masyarakatnya susah dijangkau dari kantor desa atau seluruhnya susah dijangkau dari pusat kecamatan	Desa

Keterangan: semua peubah merupakan nilai total untuk satu kabupaten/kota

2.2 Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Eksplorasi data,
 2. Menguji multikolinearitas antar peubah penjelas dengan korelasi Pearson,
 3. Membuat model regresi Poisson terbaik dengan kriteria perbedaan AICc,
 4. Interpretasi penduga parameter model regresi Poisson,
 5. Menguji keragaman spasial data amatan dengan uji Breusch-Pagan,
 6. Menganalisis model RPTG,
 7. Membandingkan kebaikan model regresi Poisson dan model RPTG dengan kriteria perbedaan AICc,
 8. Interpretasi penduga parameter RPTG,
 9. Membuat peta keragaman spasial,
 10. Interpretasi peta keragaman spasial.
- Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini yaitu GWR 4.0 dan ArcGIS 3.2.

3 PEMBAHASAN

3.1 Eksplorasi Data

Pertama, data dieksplorasi dengan menggunakan peta sebaran penderita gizi buruk di tiap kabupaten/kota. Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa beberapa daerah memiliki jumlah penderita gizi buruk yang tinggi dan beberapa daerah lainnya rendah. Hal tersebut menunjukkan adanya keragaman jumlah penderita gizi buruk di tiap kabupaten/kota. Tiga daerah yang memiliki penderita gizi buruk paling tinggi yaitu Kabupaten Majalengka (2.137 penderita), Karawang (2.125 penderita), dan Purworejo (2.002 penderita). Rata-rata rasio jumlah penderita gizi buruk terhadap jumlah penduduk sebesar 0,0544%. Sehingga, kasus gizi buruk ini memang kejadian yang jarang terjadi. Namun, karena efek dari kasus ini sangat multidimensional [10], maka perlu diketahui faktor-faktor yang mempengaruhi banyaknya penderita gizi buruk di suatu daerah, yang nantinya akan bermanfaat untuk upaya penanganulangnya.



Gambar 1 Peta sebaran penderita gizi buruk di tiap kabupaten dan kota di pulau Jawa

3.2 Pemilihan Peubah Penjelas untuk Pemodelan

Sebelum dilakukan pemodelan, peubah penjelas yang ada akan diuji keeratan hubungan antarpeubah penjelas tersebut. Jika keeratan hubungan (korelasi) antarpeubah penjelas tersebut tinggi, maka hanya akan dipilih salah satu peubah penjelas. Prosedur ini merupakan salah satu uji multikolinearitas.

Tabel 2 Korelasi Pearson antar peubah

	Y	X1	X2	X3	X4	X12	X7	X8	X13	X6	X5	X9	X14	X10
X1	0,586													
X2	0,455	0,402												
X3	-0,102	-0,104	0,323											
X4	0,759	0,615	0,336	-0,188										
X12	0,674	0,676	0,423	-0,124	0,628									
X7	0,841	0,690	0,422	-0,105	0,891*	0,741*								
X8	0,788	0,728*	0,377	-0,177	0,837*	0,783*	0,897*							
X13	0,749	0,585	0,335	-0,214	0,795*	0,706*	0,787*	0,877*						
X6	0,567	0,362	0,275	0,097	0,478	0,358	0,640	0,394	0,265					
X5	0,815	0,697	0,396	-0,102	0,843*	0,759*	0,960*	0,914*	0,799*	0,635				
X9	0,798	0,737*	0,442	-0,161	0,881*	0,791*	0,938*	0,927*	0,844*	0,464	0,913*			
X14	0,340	0,377	0,257	-0,049	0,296	0,396	0,316	0,350	0,288	0,204	0,390	0,369		
X10	0,608	0,826*	0,594	0,195	0,666	0,676	0,735*	0,768*	0,633	0,345	0,730*	0,780*	0,327	
X11	0,426	0,632	0,635	0,368	0,461	0,505	0,552	0,558	0,430	0,241	0,543	0,625	0,304	0,900*

*memiliki korelasi yang tinggi [11]

Uji multikolinearitas yang dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan korelasi Pearson seperti pada tabel 2. Tabel tersebut menunjukkan adanya beberapa peubah penjelas yang berkorelasi tinggi (nilai mutlak korelasi Pearson (r) > 0,7 [11]). Dari sejumlah peubah penjelas yang berkorelasi tinggi, lalu peubah penjelas yang memiliki korelasi tinggi terhadap peubah respon akan digunakan dalam pemodelan regresi Poisson. Hasilnya, peubah penjelas yang terpilih yaitu X1, X2, X3, X6, X7, X11, dan X14.

3.3 Model Regresi Poisson

Tujuh peubah penjelas yang tidak memiliki hubungan erat dengan peubah lainnya (tidak mengandung multikolinearitas) digunakan dalam membuat model regresi Poisson. Seperti telah dijelaskan dalam eksplorasi data, model ini dipilih karena kejadian gizi buruk merupakan kejadian yang jarang terjadi sehingga diasumsikan menyebar Poisson. Dari tujuh peubah awal yang dimodelkan (dinamakan model 1), ternyata peubah jumlah dokter (X6) tidak berpengaruh nyata terhadap respon pada taraf nyata 5% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Pemodelan dicoba kembali hanya dengan enam peubah penjelas/tanpa peubah X6 (dinamakan model 2), lalu didapatkan hasil bahwa semua peubah penjelas berpengaruh nyata terhadap respon.

Namun, jika dilihat dari kebaikan model dengan kriteria perbedaan AICc seperti yang terlihat pada Tabel 4, kedua model masih sama baiknya [7]. Atas dasar pertimbangan peneliti bahwa semakin banyak peubah penjelas diharapkan dapat lebih menerangkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap banyaknya penderita gizi buruk di suatu kabupaten/kota maka

model 1 yang dipilih, maka model dengan tujuh peubah penjelas adalah model yang dipilih untuk pemodelan RPTG.

Tabel 3 Penduga parameter dan nilai p-value model regresi Poisson dengan tujuh peubah penjelas

Peubah	Penduga	<i>p</i> -value ($> t $)
Intersep	5,039338	$< 2 \times 10^{-16}$
X1	0,000002	$< 2 \times 10^{-16}$
X2	0,000053	$< 2 \times 10^{-16}$
X3	-0,000008	$< 1,46 \times 10^{-12}$
X7	0,00074	$< 2 \times 10^{-16}$
X6	-0,000029	0,124
X14	0,001539	$< 7,74 \times 10^{-9}$
X11	-0,001113	$< 2 \times 10^{-16}$

Tabel 4 Perbandingan nilai AICc Model 1 dan 2

Model	AICc	Perbedaan AICc
Model 1	11657,58	0
Model 2	11657,67	0,9

Dari tujuh peubah penjelas terpilih, keempat aspek diwakili oleh peubah-peubah tersebut. Artinya secara umum keempat aspek, yaitu kemiskinan, kesehatan, pendidikan dan pangan memang berpengaruh terhadap banyaknya penderita gizi gizi di suatu daerah. Namun, dari tujuh peubah penjelas terpilih, tiga peubah penjelas yaitu X1, X2, dan X3 berasal dari aspek kemiskinan. Sehingga, aspek kemiskinan memang secara tidak langsung masih memberikan pengaruh yang paling besar terhadap banyaknya penderita gizi buruk. Hal ini memberikan rekomendasi kepada pembuat kebijakan bahwa penurunan penderita gizi buruk secara tidak langsung dapat dilakukan dengan mengurangi tingkat kemiskinan masyarakat sebagai faktor utama, meningkatkan kualitas pelayanan/sarana kesehatan, meningkatkan tingkat pendidikan (salah satunya melalui peningkatan sarana pendidikan), dan meningkatkan ketersediaan pangan.

3.4 Uji Keragaman Spasial

Uji keragaman spasial yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji Breusch-Pagan (uji BP). Secara umum, uji ini menguji keragaman dari suatu data (kondisi

heteroskedastisitas/homoskedastisitas). Namun, uji ini dapat pula digunakan untuk menguji keragaman spasial (*spatial heteroscedastisity*) [1]. Nilai statistik uji BP ini sebesar 37.5913 dengan nilai *p-value* 3.623×10^{-6} (kurang dari taraf nyata 5%). Sehingga terdapat keragaman spasial antardata amatan. Adanya keragaman ini menunjukkan setiap daerah memiliki karakteristik nilai peubah yang bervariasi, sehingga pemodelan dengan regresi Poisson kurang disarankan dan akan menghilangkan keragaman tersebut [10].

3.5 Model RPTG

Langkah awal sebelum dilakukan pemodelan RPTG adalah penentuan *bandwidth* optimum. Dengan menggunakan fungsi kernel adaptif kuadrat ganda, *bandwidth* optimum yang terpilih yaitu jarak hingga 46 daerah terdekat dari suatu daerah yang akan diduga. *Bandwidth* optimum yang telah terpilih selanjutnya digunakan untuk menghitung matriks pembobot di tiap daerah. Selanjutnya model lokal untuk masing-masing daerah dibuat dengan analisis RPTG.

Tabel 5 Nilai AICc untuk model regresi Poisson dan RPTG

Model	AICc	Perbedaan AICc
Regresi Poisson	11657.58	4952.14
RPTG	6705.39	0

Namun, setelah dilakukan pemodelan RPTG, model ini harus dibandingkan dengan model regresi Poisson terpilih (model 1) untuk memilih model yang lebih baik. Menurut kriteria perbedaan nilai AICc [17] seperti ditunjukkan pada Tabel 5, model regresi Poisson memiliki nilai perbedaan AICc yang sangat tinggi ($\gg 2$), sehingga menurut kriteria ini model RPTG sangat direkomendasikan. Selain itu, nilai total sisaan mutlak model RPTG sebesar 14.467,94 dan nilai tersebut lebih kecil daripada model regresi Poisson yaitu sebesar 22.020,07. Kedua kriteria tersebut semakin menunjukkan bahwa model RPTG sangat direkomendasikan untuk data gizi buruk dalam penelitian ini.

Tabel 6 Uji sederhana (*simple test*) kondisi non-stasioner dalam penduga parameter untuk tiap peubah

Peubah	Galat Baku (Regresi Poisson)	JAK (RPTG)
Intercept	0,010759	0,237853
FamLabour	0,000000*	0,000003
FamRiver	0,000002	0,000031
FamSlums	0,000001	0,000094
ISP	0,000008	0,000377
Doctor	0,000019	0,001992
DiffPlace	0,000266	0,010788
JHSch	0,000059	0,002455

* nilai dalam 10 digit desimal adalah is 0.0000000089

Selanjutnya, Uji non-stasioner pada penduga parameter RPTG. Uji yang dilakukan yaitu uji sederhana (*simple test*). Menurut uji ini, nilai jangkauan antarkuartil (JAK) dalam model RPTG yang lebih besar atau sama dengan 2 kali dari galat baku model regresi Poisson maka penduga parameter untuk tiap peubah penjelas (termasuk intersep) akan bervariasi [10] atau dengan kata lain dalam kondisi non-stasioner. Seperti yang ditunjukkan Tabel 6, seluruh peubah dalam kondisi non-stasioner. Artinya, adanya variasi penduga parameter pada tiap peubah untuk masing-masing daerah. Sehingga persamaan model RPTG yang terbentuk:

$$\ln \hat{Y}_i = \hat{\beta}_0(u_i, v_i) + \hat{\beta}_1(u_i, v_i) X1 + \hat{\beta}_2(u_i, v_i) X2 - \hat{\beta}_3(u_i, v_i) X3 + \hat{\beta}_4(u_i, v_i) X7 - \hat{\beta}_5(u_i, v_i) X6 - \hat{\beta}_7(u_i, v_i) X11 + \hat{\beta}_6(u_i, v_i) X14$$

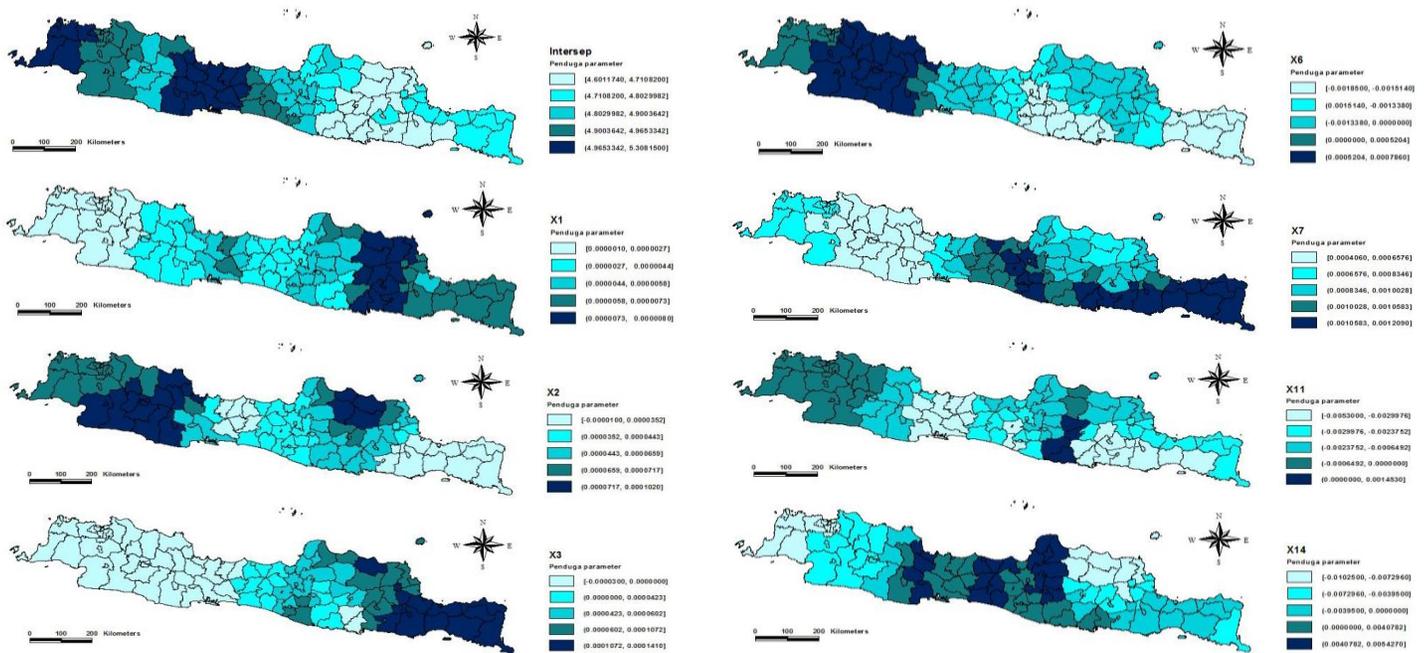
Notasi (u_i, v_i) menunjukkan penduga parameter tersebut dalam kondisi non-stasioner.

3.6 Peta Keragaman Spasial

Peta keragaman spasial ini merupakan peta sebaran nilai penduga parameter lokal untuk tiap peubah penjelas (termasuk intersep). Peta ini memiliki keunggulan yaitu dapat mengetahui daerah-daerah yang memiliki pengaruh/hubungan yang kuat dan lemah pada masing-masing peubah penjelas terhadap respon (ditunjukkan dengan keragaman nilai penduga parameter lokal).

Gambar 2 menunjukkan peta sebaran penduga parameter lokal RPTG untuk tiap peubah. Pada masing-masing peta tersebut terlihat kelompok sebaran nilai penduga parameter lokal tiap daerah dari warna paling cerah hingga paling gelap. Semakin cerah warna tersebut menunjukkan nilai penduga parameter yang semakin kecil dan semakin gelap menunjukkan

nilai yang semakin tinggi. Secara umum, daerah-daerah yang saling berdekatan memiliki kelompok warna yang sama. Artinya, seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa setiap perhitungan penduga parameter lokal di tiap daerah dipengaruhi oleh daerah terdekatnya melalui pemilihan *bandwith* optimum.



Gambar 2 Peta sebaran penduga parameter lokal RPTG untuk tiap peubah

Salah satu interpretasi dari peta tersebut dicontohkan untuk peubah X1. Nilai penduga parameter lokal untuk peubah X1 bervariasi dari nilai yang rendah hingga tinggi. Nilai penduga parameter lokal yang tinggi berada di kabupaten dan kota yang berada di bagian barat provinsi Jawa Timur. Sebaliknya, nilai penduga yang sangat rendah berada di seluruh daerah di provinsi DKI Jakarta dan Banten, serta di kabupaten dan kota yang berada di bagian barat provinsi Jawa Barat. Daerah-daerah yang memiliki nilai penduga parameter lokal yang sangat tinggi menunjukkan bahwa pengaruh/hubungan antara peubah banyaknya buruh tani terhadap nilai harapan jumlah penderita gizi buruk yang kuat begitu pula sebaliknya. Daerah-daerah di kota besar, seperti di provinsi DKI Jakarta memang secara kenyataan memiliki penduduk yang relatif sedikit yang bekerja sebagai buruh tani dibandingkan daerah lainnya. Sehingga, pengaruh/hubungan peubah banyaknya buruh tani terhadap nilai harapan jumlah penderita gizi buruk sangatlah lemah.

4 KESIMPULAN

Model RPTG merupakan model yang lebih baik dibandingkan model regresi Poisson untuk data gizi buruk menurut kriteria perbedaan nilai AICc dan nilai total sisaan mutlak. Secara umum, faktor-faktor penentu terhadap jumlah penderita gizi buruk di suatu daerah disebabkan aspek kemiskinan. Persamaan model RPTG yang terbentuk yaitu:

$$\ln \hat{Y}_i = \hat{\beta}_0(u_i, v_i) + \hat{\beta}_1(u_i, v_i) X1 + \hat{\beta}_2(u_i, v_i) X2 - \hat{\beta}_3(u_i, v_i) X3 + \hat{\beta}_4(u_i, v_i) X7 - \hat{\beta}_5(u_i, v_i) X6 - \hat{\beta}_7(u_i, v_i) X11 + \hat{\beta}_6(u_i, v_i) X14$$

Peta keragaman spasial menunjukkan adanya variasi nilai penduga parameter lokal untuk tiap peubah penjelas. Semakin tua kelompok warna yang ditampilkan pada suatu daerah, maka semakin tinggi nilai penduga parameter lokalnya dan daerah tersebut memiliki pengaruh/hubungan yang kuat terhadap dugaan banyaknya penderita gizi buruk.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arbia G. 2006. *Spatial econometrics: Statistical Foundations and Applications to Regional Convergence*. Berlin: Springer Publishing.
- [2] [BPPK] Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan. 2008. *Laporan Hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) Nasional*. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- [3] [BPS] Badan Pusat Statistik. 2008. *Pedoman Pencacah*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- [4] [Bappenas] Badan Pengembangan dan Perencanaan Nasional. 2011. *Rencana Aksi Nasional Pangan dan Gizi 2011-2015*. Jakarta: Bappenas.
- [5] Burnham KP dan Anderson D. 1998. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. New York: Springer Publishing.
- [6] Cameron AC dan Trivedi PK. 1998. *Regression Analysis of Count Data*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [7] Charlton M dan Fotheringham AS. 2009. *Geographically Weighted Regression White Paper*. Maynooth: Science Foundation Ireland.
- [8] Cheng EMY, Atkinson PM, dan Shahani AK. 2011. Elucidating the spatially varying relation between cervical cancer and socio-economic conditions in England, *International Journal of Health Geographics*, 10:51.

- [9] C:\data\StatPrimer\correlation.wpd dalam <http://www.sjsu.edu/faculty/gerstman/StatPrimer/correlation.pdf>. [September 12th, 2012]
- [10] [DBGM] Direktorat Bina Gizi Masyarakat. 2008. *Pedoman Respon Cepat Penanggulangan Gizi Buruk*. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- [11] Fleiss JL, Levin B, dan Paik MC. 2003. *Statistical Methods for Rates and Proportions 3rd Ed*. New York: Columbia University.
- [12] Fotheringham AS, Brunson C, and Charlton M. 2002. *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationship*. Chichester: John Wiley and Sons, ltd.
- [13] Mennis J. 2006. Mapping the Results of Geographically Weighted Regression, *The Cartographic Journal*, 43(2):171–179.
- [14] Nakaya T, Fotheringham AS, Brunson C, and Charlton M. 2005. Geographically Weighted Poisson Regression for Disease Association Mapping, *Statistics in Medicine*, 24:2695-2717.
- [15] Saefuddin A, Widyaningsih Y, dan Mustafa M. 2012. Land Price Modeling Considering Spatial Factors, *Asean Journal of Mathematics and Statistics*, 5(4):132-141.

PEMODELAN PRODUKSI CABE DI KABUPATEN MAJALENGKA DENGAN REGRESI POLINOM

Mulya Sari, Hari Wijayanto, Yenni Angraini

Departemen Statistika, Institut Pertanian Bogor
E-mail: zhai2.iia@gmail.com

ABSTRAK

Siklus panen tanaman cabe yang panjang dengan frekuensi panen yang berulang kali menimbulkan kesulitan bagi petugas lapang dalam mengumpulkan data dan memprediksi hasil produksi total cabe. Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi permasalahan teknis pengumpulan data produktivitas plot 5x5 tanaman pada tanaman hortikultura yang dipanen berulang kali khususnya pada tanaman cabe. Metode pengumpulan data komoditas hortikultura yaitu dengan cara menghitung produksi tanaman langsung di lapang, dilakukan melalui pendekatan plot amatan. Pada penelitian kali ini model regresi polinom dapat digunakan untuk membangun model produksi cabe dari siklus panennya berdasarkan pengelompokan pola produksi cabe. Kelompok yang terbentuk sebanyak tiga kelompok. Model yang dihasilkan dari ketiga kelompok diperoleh model polinom yang terbaik adalah model polinom orde kedua. Dari data yang terkumpul diperoleh persamaan model regresi untuk kelompok 1 adalah $y = 0.5365 + \varepsilon^{0.1369x} - \varepsilon^{0.0211x^2} + \varepsilon$ dengan nilai R^2 sebesar 0.884, persamaan model regresi untuk kelompok 2 adalah $y = 0.7382 + 0.0143 \frac{1}{x^{1.74}} + \varepsilon$ dengan nilai R^2 sebesar 0.880, dan persamaan model regresi untuk kelompok 3 adalah $yw_i = (4.80 - 0.0288w_i) + 0.1904w_i x - 0.0208w_i x^2 + \varepsilon$ dengan nilai R^2 sebesar 0.780.

Kata kunci: Model regresi polinom, plot 5x5 tanaman

1. PENDAHULUAN

Komoditas hortikultura yang mencakup sayuran, buah-buahan, tanaman hias dan obat-obatan merupakan salah satu komoditas unggulan sektor pertanian karena dapat memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap devisa negara, bahkan beberapa komoditas seperti cabe dan bawang merah sangat besar pengaruhnya terhadap tingkat inflasi. Oleh karena itu, perencanaan dan penanganan komoditas hortikultura secara tepat akan dapat memberikan dampak yang sangat baik bagi perekonomian Indonesia.

Data produktivitas hortikultura dihitung berdasarkan data luas panen dan produksi. Metode pengumpulan data luas panen dan produksi tersebut berdasarkan informasi dari beberapa sumber yang kompeten dan penaksiran petugas dengan estimasi pandangan mata (*eye estimate*). Metode pelaporan ini masih dipengaruhi oleh subyektifitas sumber

informasi dan petugas pengumpul data di lapang. Oleh karena itu, pengukuran langsung produktivitas tanaman hortikultura perlu dilakukan untuk meningkatkan akurasi data melalui metode pengukuran produktivitas hortikultura, sehingga data produksi diperoleh dari hasil kali data luas panen dengan produktivitas tersebut. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan bantuan formulir SPVH-CABE [1].

Metode pengumpulan data produksi per hektar dengan cara menghitung produksi tanaman langsung di lapang, dilakukan melalui pendekatan plot amatan. Plot amatan yang telah diujicobakan diantaranya: plot 10 x 10 tanaman, plot 5 x 5 tanaman, dan plot ubinan 2.5m x 2.5m yang biasa diterapkan untuk tanaman padi dan palawija. Hasil uji coba di lapang pada tahun 2003 menunjukkan bahwa plot 5 x 5 tanaman dianggap paling baik [5].

Namun demikian dalam pelaksanaan implementasi tersebut dijumpai kendala pada pengukuran produktivitas tanaman yang dipanen berulang kali, seperti cabe. Pemetikan hasil yang dilakukan berulang kali menyebabkan petugas pengumpul data dan petugas supervisi harus lebih teliti pada saat mengamati hasil panen. Kendala lain adalah plot contoh yang terletak pada lokasi yang sulit dijangkau menyebabkan petugas tidak bisa melakukan pengamatan secara terus-menerus, sehingga hasil pengukuran produktivitas cabe disinyalir menjadi kurang akurat.

Beberapa kendala di atas dapat ditemukan dari setiap plot contoh dengan kondisi yang berbeda. Berdasarkan kendala tersebut dilakukan upaya untuk membangun suatu model produksi cabe dari siklus panennya. Dalam makalah ini penulis ingin membangun model produksi cabe dari siklus panennya berdasarkan pengelompokan pola produksi cabe.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer produksi tanaman cabe pada plot ukuran 5 x 5 tanaman yang dibudidayakan oleh petani. Lokasi penelitian berada di kabupaten Majalengka, provinsi Jawa Barat. Data merupakan produksi tanaman cabe periode panen bulan April sampai Juli 2012. Peubah respon yang digunakan adalah produksi (Kg/plot) dan peubah penjelas yang digunakan adalah waktu panen.

Plot tanaman yang diperoleh pada penelitian ini yaitu berdasarkan hasil pendataan rumah tangga produksi cabe yang telah dilakukan di lapangan. Kegiatan ini dilaksanakan di provinsi Jawa Barat dengan 5 kabupaten terpilih yaitu kabupaten Cianjur, kabupaten Majalengka, kabupaten Garut, kabupaten Tasik, dan kabupaten Sukabumi namun penelitian ini terfokus hanya di kabupaten Majalengka. Ada empat kecamatan yang masuk ke dalam contoh yaitu kecamatan Banjaran, kecamatan Lemahsugih, kecamatan Kertajati, dan kecamatan Ligung. Penentuan kecamatan dilakukan berdasarkan beda nilai *share* sentra produksi cabe yang cukup tinggi dengan individu dibawahnya atau *share* kumulatifnya lebih dari 75%. Nilai *share* diperoleh dari persentase rata-rata luas panen setiap kecamatan terhadap total rata-rata luas panen dari seluruh kecamatan [1].

Proporsi plot contoh untuk masing-masing kecamatan dihitung berdasarkan daftar hasil pendataan masing-masing kecamatan ada berapa petani yang akan melaksanakan panen cabe pada triwulan II atau triwulan III. Untuk kecamatan Banjaran diperoleh proporsi plot contoh sebanyak 9 plot contoh, kecamatan Lemahsugih sebanyak 15 plot contoh, kecamatan Kertajati sebanyak 15 plot contoh, dan kecamatan Ligung sebanyak 20 plot contoh. Namun pada penelitian ini plot contoh yang digunakan hanya 26 plot contoh. Perincian plot contoh disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Proporsi plot contoh yang terpilih

Kecamatan	Proporsi Plot Contoh	Plot Contoh yang Terpilih	Plot
Banjaran	9	6	1,7,8,9,11,12
Lemah Sugih	15	15	10,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26
Kertajati	15	5	2,3,4,5,6
Ligung	20	0	-

2.2. Metode Analisis

Tahapan analisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan kajian proses dalam penentuan plot tanaman
- b. Melakukan eksplorasi data yang diperoleh dari plot contoh 5 x 5 tanaman
- c. Melakukan pengelompokkan pola sebaran data produksi cabe
- d. Analisis pola produksi dari masing-masing kelompok

- e. Menentukan pemodelan yang sesuai dari masing-masing kelompok
- f. Membuat persamaan regresi polinom dari bentuk peubah penjelas proses *centering* menjadi peubah penjelas asalnya
- g. Melakukan pengujian asumsi kenormalan sisaan, kehomogenan ragam sisaan, dan kebebasan sisaan [2]
- h. Memilih model dengan presisi terbaik dari masing-masing kelompok dengan pemodelan regresi polinom
- i. Interpretasi model.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Plot Tanaman

Dalam menentukan plot tanaman di lapangan terdapat beberapa kendala yang dihadapi. Pertama, pada proses pendataan rumah tangga yang kurang teliti misalnya dari hasil pendataan seharusnya ada beberapa petani yang masuk ke dalam contoh rumah tangga namun tidak dijadikan contoh pada saat pelaksanaan karena ada beberapa petani yang baru akan melaksanakan panen di bulan September sehingga akan selesai panen pada bulan November-Desember, sedangkan dari kegiatan pelaksanaan pengukuran produktivitas tanaman cabe tahun 2012 ini diharapkan pada akhir tahun 2012 sudah selesai dalam proses pelaporan hasil kegiatan. Sehingga dilakukan perubahan beberapa plot contoh yang rencana awal panen bulan September diganti oleh plot contoh yang akan melaksanakan awal panen di triwulan II meskipun pada hasil pendataan plot tersebut tidak masuk ke dalam contoh. Hal ini menyebabkan petak contoh yang diperoleh menjadi kurang akurat atau menjadi bias.

Kedua, pelaksanaan pengukuran plot tanaman/ubinan di lapangan tidak sesuai dengan tata cara yang telah ditentukan sebelumnya, misalnya dari hasil pengukuran yang seharusnya diperoleh 25 tanaman ternyata hanya terdapat 24 tanaman sehingga petugas melakukan pergeseran plot. Ketiga, pada proses penimbangan hasil produksi cabe yang sedang panen ada beberapa data yang tidak tercatat contohnya terjadi di kecamatan Banjaran yang menyebabkan adanya kesubjektifitasan dari petugas lapang sehingga hasil produksi cabe yang diperoleh menjadi tidak akurat.

3.2 Eksplorasi Data

Deskripsi data produksi hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 26 plot yang diamati diperoleh rata-rata produksi sebesar 15,98 kg dengan produksi terendah sebesar 3,60 kg yaitu pada plot 5 yang terletak di kecamatan Kertajati dan produksi tertinggi sebesar 33,45 kg yaitu pada plot 25 yang terletak di kecamatan Lemahsugih, sedangkan simpangan bakunya sebesar 10,45 kg.

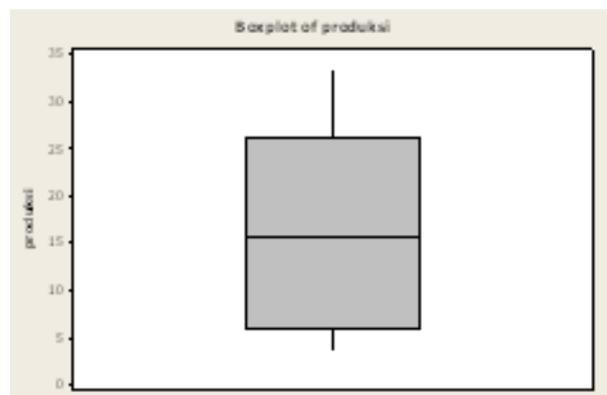
Selain dilihat dari ukuran rata-rata dan simpangan baku, perlu dilakukan eksplorasi lebih lanjut terutama dalam melihat pola sebaran datanya. Penelusuran terhadap data produksi dapat dilihat dari diagram dahan daun (Gambar 1) dan *Box Plot* (Gambar 2).

Dari Gambar 1 terlihat bahwa secara umum data produksi cabe menyebar secara merata sekitar 3-33 kg dimana dari 26 plot yang diamati 12 plot yang produksinya berada di bawah rata-rata dan 14 plot berada di atas rata-rata. Apabila dilihat dari *Box Plot* pada Gambar 2, tidak ditemukan adanya data pencilan.

```
Stem-and-leaf of produksi  N = 26
Leaf Unit = 1.0

 5  0  33333
10  0  55667
12  1  01
(4) 1  5568
10  2  33
 8  2  56677
 3  3  023
```

Gambar 1 Diagram dahan daun data produksi cabe



Gambar 2 *Box-Plot* data produksi cabe

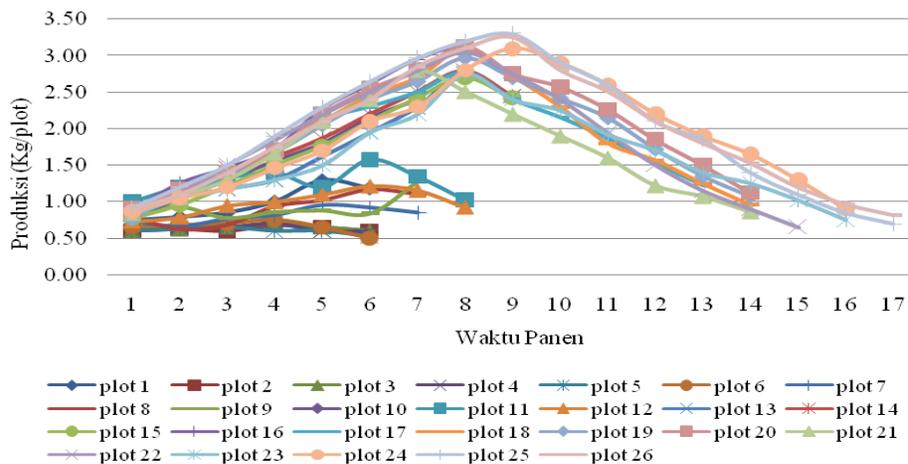
3.3 Analisis Pola Produksi

Pola sebaran data produksi cabe disajikan pada Gambar 3. Hasil pola sebaran data produksi pada Gambar 3 menunjukkan bahwa pola yang dihasilkan dari setiap plot tanaman beragam. Ada beberapa kondisi dimana terdapat beberapa plot yang sudah melewati masa panen raya dan produksi semakin menurun serta terdapat beberapa plot hasil produksi masih meningkat sehingga perlu adanya pengelompokan terhadap plot yang memiliki karakteristik yang sama yaitu berdasarkan waktu panen dan pola produksi cabe. Berdasarkan Gambar 3, plot tanaman dibagi menjadi tiga kelompok bagian yaitu

Kelompok 1 : plot 2, plot 3, plot 4, plot 5, dan plot 6 yang terletak di kecamatan Kertajati

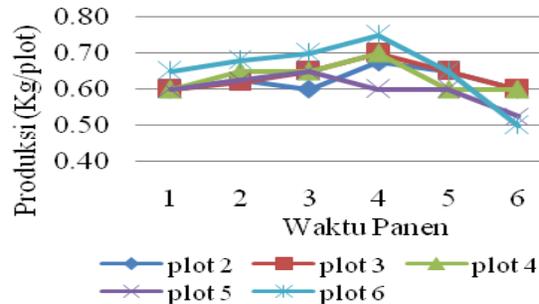
Kelompok 2: plot 1, plot 7, plot 8, plot 9, plot 11, dan plot 12 yang terletak di kecamatan Banjaran

Kelompok 3: plot 10, plot 13, plot 14, plot 15, plot 16, plot 17, plot 18, plot 19, plot 20, plot 21, plot 22, plot 23, plot 24, plot 25, dan plot 26 yang terletak di kecamatan Lemahsugih.



Gambar 3 Pola sebaran data produksi cabe

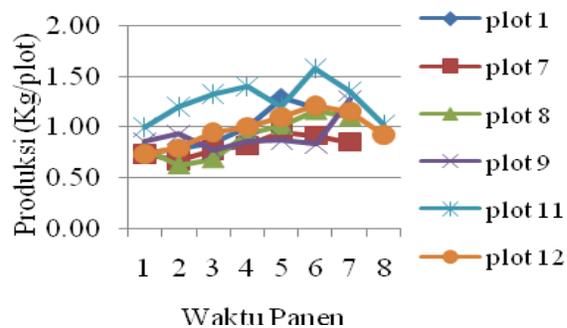
3.3.1 Kelompok 1



Gambar 4 Pola sebaran data produksi kelompok 1

Plot contoh yang termasuk ke dalam kelompok 1 sebanyak 5 plot yaitu plot 2, plot 3, plot 4, plot 5, dan plot 6. Pola produksi pada kelompok 1 dapat dilihat pada Gambar 4. Jenis cabe pada kelompok ini adalah cabe hijau. Kelima plot tersebut membentuk pola dengan karakteristik yang hampir sama dimana hasil produksi cabe setiap plot mengalami peningkatan kemudian penurunan dengan selisih hasil produksi yang tidak terlalu signifikan dan waktu panen yang relatif sama yaitu sampai enam kali panen. Kesamaan lain dari kelima plot tersebut adalah berada di dataran rendah dengan kondisi lahan yang kurang pengairan dan pemupukan yang tidak intensif menyebabkan produksi cabe yang dihasilkan kurang memuaskan.

3.3.2 Kelompok 2



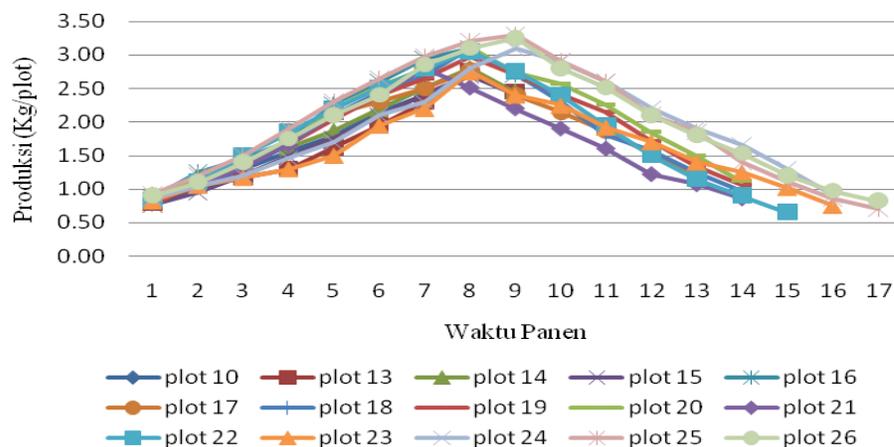
Gambar 5 Pola sebaran data produksi kelompok 2

Plot contoh yang termasuk ke dalam kelompok 2 sebanyak 6 plot yaitu plot 1, plot 7, plot 8, plot 9, plot 11 dan plot 12. Pola produksi pada kelompok 2 dapat dilihat pada Gambar 5. Jenis cabe pada kelompok ini adalah cabe merah kriting. Secara umum kondisi lahan

dari keenam plot tersebut hampir sama yaitu berada di lokasi yang sama, namun pengairan pada lahan tersebut kurang baik sehingga hasil produksi cabe yang diperoleh kurang memuaskan. Proses pemupukan pada kelompok 2 ini lebih baik dibandingkan dengan kelompok 1 dimana pupuk yang digunakan adalah pupuk organik dengan pemberian pupuk secara rutin sedangkan pada kelompok 1 tidak demikian. Selain itu, pengendalian terhadap hama penyakit dilakukan secara rutin.

3.3.3 Kelompok 3

Plot contoh yang termasuk ke dalam kelompok 3 sebanyak 15 plot yaitu plot 10, plot 13 sampai plot 26 yang terletak di kecamatan Lemahsugih. Pola produksi pada kelompok 3 dapat dilihat pada Gambar 6. Pola produksi pada kelompok 3 jauh lebih baik dibandingkan dengan pola produksi dari kedua kelompok sebelumnya. Hal ini disebabkan karena teknik pengairan di lahan tersebut jauh lebih baik dengan penyiraman yang rutin sehingga kondisi tanah di lahan tersebut subur. Selain itu, pemupukan yang bersertifikat dan pengendalian hama penyakit yang rutin menyebabkan produksi cabe dari 15 plot tersebut lebih baik. Jenis cabe pada kelompok ini adalah cabe merah keriting. Produksi cabe yang dihasilkan membentuk pola kuadrat dimana masing-masing plot sudah mengalami panen raya dan terjadi penurunan produksi kembali namun pada plot 10 belum mengalami penurunan produksi disebabkan karena pada plot 10 ini belum mencapai habis panen atau masih berproduksi.



Gambar 6 Pola sebaran data produksi kelompok 3

Dari pemaparan analisis pola produksi setiap kelompok maka dapat diketahui beberapa perbandingan faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi produksi cabe dari ketiga kelompok tersebut. Beberapa perbandingan tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan Ciri Umum yang Mempengaruhi Produksi Cabe Ketiga Kelompok

Kelompok	Budidaya			Alamiah		
	jenis	pemupukan	perawatan	kesuburan tanah	Suhu	Letak Lahan
1	cabe hijau	organik,ZA, TSP,NPK	pemberian pestisida, tidak dilakukan tumpang sari (monokultur)	kurang subur	28 ⁰ -30 ⁰	dataran rendah
2	cabe merah keriting	pupuk organik cair (POC Sonik)	pemberian pestisida, tidak dilakukan tumpang sari (monokultur)	kurang subur	21 ⁰ -29 ⁰	dataran tinggi
3	cabe merah kriting	Organik, NPK, ZA, NPK mutiara	Pemberian pestisida, dilakukan tumpang sari dengan cabe rawit dan tomat	subur	5 ⁰ -10 ⁰	dataran tinggi

3.4 Hasil Pemodelan Produksi Cabe

Proses pengepasan model produksi cabe masing-masing kelompok perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum memperoleh model dengan presisi terbaik dari setiap kelompok produksi cabe [9]. Pengepasan model dilakukan dari data hasil rata-rata produksi cabe berdasarkan waktu panennya pada setiap kelompok.

Tabel 3 Pengepasan model untuk masing-masing kelompok

Kelompok k	Persamaan	Ringkasan Model					Dugaan Parameter		
		R-square	F	db1	db2	Sig.	Konstant a	b1	b2
1	Kuadratik	.849	8.41	2	3	.059	.529	.086	-.013
2	Kuadratik	.804	10.25 2	2	5	.017	.612	.151	-.012
3	Kuadratik	.863	44.12	2	14	.000	.295	.498	-.029

3.4.1 Kelompok 1

Hasil proses pengepasan model untuk kelompok 1 yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa dari beberapa pemodelan yang diperoleh model yang sesuai dengan pola data produksi cabe pada kelompok 1. Pemilihan model terbaik dilakukan berdasarkan nilai R^2 yang paling tinggi, nilai R^2_{adj} dan nilai signifikan yang kecil. Model yang diperoleh adalah model regresi polinom orde kedua (model kuadratik) dengan nilai R^2 sebesar 0,849 dan nilai signifikan sebesar 0.059 [3].

Tabel 4 Perbandingan antara model polinom orde satu dengan orde dua pada kelompok 1

orde	R^2	R^2_{adj}	Se (b_1)	Se (b_2)	Fhit
1	.064	.170	.010	-	.273
2	.849	.748	.005	.003	8.410

3.4.2 Kelompok 2

Hasil proses pengepasan model untuk kelompok 2 yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa dari beberapa pemodelan yang diperoleh model yang sesuai dengan pola data produksi cabe pada kelompok 2. Pemilihan model terbaik dilakukan berdasarkan nilai R^2 yang paling tinggi, nilai R^2_{adj} dan nilai signifikansi yang kecil. Model yang diperoleh adalah model regresi polinom orde kedua (model kuadratik) dengan nilai R^2 sebesar 0,804 dan nilai signifikan sebesar 0,017 [3].

Tabel 5 Perbandingan antara model polinom orde satu dengan orde dua pada kelompok 2

orde	R^2	R^2_{adj}	Se (b_1)	Se (b_2)	Fhit
1	.611	.546	.014	-	9.417
2	.810	.733	.011	.005	10.626

3.4.3 Kelompok 3

Hasil proses pengepasan model untuk kelompok 3 yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa dari beberapa pemodelan yang diperoleh model yang sesuai dengan pola data produksi cabe pada kelompok 3. Pemilihan model terbaik dilakukan berdasarkan nilai R^2 yang paling tinggi, nilai R^2_{adj} dan nilai signifikan yang kecil. Model yang diperoleh adalah model regresi polinom orde kedua (model kuadratik) dengan nilai R^2 sebesar 0,863 dan nilai signifikan sebesar 0,000 [3].

Tabel 6 Perbandingan antara model polinom orde satu dengan orde dua pada kelompok 3

orde	R^2	R^2_{adj}	se(b_1)	se(b_2)	Fhit
1	.040	-.024	.035	-	.622
2	.863	.844	.014	.003	44.176

Ketiga model yang diperoleh dari masing-masing kelompok di atas selanjutnya dilakukan proses perubahan koefisien regresi kuadratik dari peubah X hasil proses *centering* [6] menjadi peubah X asalnya untuk memudahkan dalam melakukan interpretasi model. Dugaan model yang diperoleh untuk kelompok 1 adalah $\hat{y} = 0.528 + 0.086x - 0.013x^2$, dugaan model untuk kelompok 2 adalah $\hat{y} = 0.616 + 0.150x - 0.012x^2$, dan dugaan model untuk kelompok 3 adalah $\hat{y} = 0.313 + 0.494x - 0.029x^2$.

3.5 Pengujian Asumsi

Dari model yang telah diperoleh setelah hasil transformasi ke peubah X asalnya, selanjutnya dilakukan pemeriksaan asumsi dari setiap model pada masing-masing kelompok. Pemeriksaan asumsi yang dilakukan yaitu asumsi kenormalan sisaan, kehomogenan sisaan, dan kebebasan antar sisaan. Hasil pemeriksaan asumsi dapat dilihat pada Tabel 7. Untuk Pemeriksaan asumsi kenormalan sisaan didukung pula dengan uji Kolmogorov-Smirnov. Begitu pula untuk pemeriksaan asumsi kehomogenan ragam yang didukung dengan uji Glejser dan asumsi kebebasan sisaan yang didukung dengan uji Durbin-Watson [4].

Tabel 7 Hasil pemeriksaan asumsi setiap kelompok

Pengujian Terhadap Asumsi	Sebelum Transformasi			Setelah Transformasi		
	Kelompok 1	Kelompok 2	Kelompok 3	Kelompok 1	Kelompok 2	Kelompok 3
Kenormalan	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Kehomogenan Ragam	Homogen	Tidak Homogen	Tidak Homogen	Homogen	Homogen	Homogen
Kebebasan Antar Sisaan	Tidak Bebas	Tidak Bebas	Tidak Bebas	Bebas	Bebas	Tidak Bebas

Hasil pemeriksaan asumsi dari masing-masing kelompok menunjukkan bahwa ada asumsi yang masih belum terpenuhi. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya-upaya untuk memenuhi asumsi. Salah satu upaya yang dilakukan untuk memenuhi asumsi adalah dengan melakukan transformasi baik terhadap peubah respon maupun peubah penjelas.

Tahapan selanjutnya adalah pemilihan model terbaik masing-masing kelompok. Persamaan model regresi untuk kelompok 1 adalah $y = 0.5365 + e^{0.1369x} - e^{0.0211x^2} + \varepsilon$ dengan nilai R^2 sebesar 0.884, persamaan model regresi untuk kelompok 2 adalah $y = 0.7382 + 0.0143 \frac{1}{x^{1.74}} + \varepsilon$ dengan nilai R^2 sebesar 0.880, dan persamaan model regresi untuk kelompok 3 adalah $yw_i = (4.80 - 0.0288w_i) + 0.1904w_ix - 0.0208w_ix^2 + \varepsilon$ dengan nilai R^2 sebesar 0.780.

3.6 Interpretasi Model

Interpretasi dari model yang telah diperoleh adalah untuk mengetahui produksi optimum untuk masing-masing kelompok. Kelompok 1 produksi optimum yang diperoleh sebesar 0.664 Kg/plot pada waktu panen keempat, kelompok 2 produksi optimum yang diperoleh sebesar 1.078 Kg/plot pada waktu panen ketujuh, dan kelompok 3 produksi optimum yang diperoleh sebesar 2.410 Kg/plot pada waktu panen kesembilan.

4 KESIMPULAN

Penggunaan regresi polinom dapat dilakukan untuk mengetahui model produksi cabe terhadap waktu panennya berdasarkan kelompok dengan karakteristik yang sama. Persamaan model regresi untuk kelompok 1 adalah $y = 0.5365 + e^{0.1369x} - e^{0.0211x^2} + \varepsilon$ dengan nilai R^2 sebesar 0.884, persamaan model regresi untuk kelompok 2 adalah $y = 0.7382 + 0.0143 \frac{1}{x^{1.74}} + \varepsilon$ dengan nilai R^2 sebesar 0.880, dan persamaan model regresi untuk kelompok 3 adalah yw_i

= $(4.80 - 0.0288w_i) + 0.1904w_ix - 0.0208w_ix^2 + \epsilon$ dengan nilai R^2 sebesar 0.780. Model yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain varietas, cara budidaya, kondisi alami dari lahan yang ditanami. Akurasi model juga sangat dipengaruhi oleh keakuratan data yang dikumpulkan. Dalam penelitian ini teridentifikasi cukup banyak faktor yang dapat menimbulkan kesalahan *non-sampling error*. Beberapa kesalahan yang terdeteksi antara lain kesalahan dalam menentukan contoh rumah tangga, kesalahan dalam menentukan plot contoh, dan kesalahan pada saat pengukuran hasil produksi cabe.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. [Kementerian Pertanian]. 2012. Pedoman Pengukuran Produktivitas Cabe. Jakarta : Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian.
- [2]. Draper NR, Smith H. 1992. Analisis Regresi Terapan Edisi Kedua. Sumantri B, penerjemah. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama. Terjemahan dari: *Applied Regression Analysis*.
- [3]. Hines, Montgomery. 1992. *Introduction to Linear Regression Analysis*. New York : Willey.
- [4]. Rawlings JO, Pantula SG, Dickey DA. 1998. *Applied Regression Analysis*. New York : Springer – Verlag.
- [5]. Wijayanto, H. 2005. Pendekatan Kemungkinan Maksimum dan Bayes untuk Pendugaan Produktivitas Komoditas Horitkultura (Kasus Komoditas Kentang) [Disertasi]. Bogor: Departemen Statistika FMIPA Institut Pertanian Bogor.

**PENDUGAAN TOTAL POPULASI PADA PEUBAH
DENGAN SEBARAN LOGNORMAL
(Studi Kasus: Data Susenas 2007 Pengeluaran Rumah Tangga Kota Bogor)**

Anita Pratiwi, Anang Kurnia, La Ode Abdul Rahman

Departemen Statistika FMIPA IPB
Email: anitapратиwi97@gmail.com

ABSTRAK

Analisis regresi linier merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam pendugaan total populasi berdasarkan model. Penerapan pada data sosial ekonomi yang sering kali ditemui kasus menjulur ke kanan menyebabkan penduga total berbias. Transformasi logaritma yang dilakukan pada peubah respon dapat memperbaiki kesimetrian data dan membantu mengatasi masalah ketidaknormalan. Proses transformasi balik menyebabkan model regresi linier yang digunakan untuk menduga total populasi terkoreksi. Model ini dinamakan model Karlberg (M3). Untuk melihat kelebihan M3 dalam pendugaan total populasi, dilakukan juga pendugaan melalui dua metode lain yang sifatnya langsung yaitu melalui rata-rata contoh peubah asal (M1) dan nilai harapan sebaran lognormal (M2). Melalui simulasi dengan karakteristik data bangkitan yang sama dengan data peubah pengeluaran rumah tangga di Kota Bogor hasil Susenas tahun 2007, diperoleh nilai ARB (*Average of Relative Bias*), RLMSE (*Relative Mean Square Error*), MSE (*Mean Square Error*), dan AARB (*Average of Absolute Relative Bias*) dari penduga M3 lebih baik dari penduga M1 dan M2 pada berbagai ukuran contoh. Berdasarkan nilai ARB, penduga M3 dan M1 memiliki besar rata-rata bias relatif yang hampir sama, sedangkan untuk nilai ragam (RLMSE dan MSE), penduga M3 menjadi penduga terbaik dengan nilai ragam terkecil, disusul oleh penduga M1 dan penduga M2. Aplikasi ketiga metode pada pendugaan total pengeluaran rumah tangga di kelurahan dalam Kota Bogor, kecamatan dalam Kota Bogor, dan Kota Bogor menghasilkan M1 dan M3 sebagai dua penduga dengan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) terkecil. Namun demikian, pemilihan peubah penjelas menjadi penentu baiknya penduga M3.

Katakunci: sebaran lognormal, total populasi, model Karlberg

1 PENDAHULUAN

Analisis regresi linier merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk menduga suatu peubah respon bila peneliti memiliki informasi tentang peubah penjelas yang memiliki hubungan linier dengan peubah respon. Model regresi linier dapat menghasilkan penduga total populasi yang tidak berbias bila dibangun dari data peubah respon yang

menyebar normal. Kemunculan nilai pencilan kanan atau data menjulur ke kanan pada data survei sosial ekonomi seringkali terjadi sehingga asumsi kenormalan tidak lagi terpenuhi. Kondisi ini menyebabkan penduga parameter pada model regresi berbias sehingga penduga total populasi pun berbias.

Transformasi logaritma natural terhadap data dapat dilakukan untuk memperbaiki kesimetrikan data dan mengatasi masalah kenormalan. Proses transformasi balik menyebabkan adanya pengoreksian pada model regresi linier penduga total populasi. Model regresi linier terkoreksi ini diperkenalkan oleh Karlberg (2002) [1]. Model Karlberg mampu menghasilkan penduga total populasi terbaik dengan nilai bias yang jauh lebih kecil dari model regresi linier yang dibangun dari data yang tidak ditransformasi.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi karakteristik penduga total populasi dari model Karlberg.
2. Melakukan pendugaan total populasi pada data riil pengeluaran rumah tangga Kota Bogor hasil Susenas tahun 2007.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Total Populasi

Bila y_i merupakan nilai peubah acak individu ke- i dari suatu populasi, maka total populasi dapat dituliskan sebagai berikut [1] :

$$T = \sum_{i=1}^N y_i = \sum_{i \in s} y_i + \sum_{i \in r} y_i \quad (1)$$

di mana gugus data s (berukuran n) merupakan data contoh yang diambil dari populasi berukuran N , sedangkan gugus data r (berukuran $N-n$) merupakan komplemen dari gugus data contoh.

Pendugaan terhadap total populasi dapat dilakukan melalui desain penarikan contoh seperti *direct sampling*, *inverse sampling*, dan *quadrat sampling* [2]. Pendugaan dengan ketiga cara tersebut hanya membutuhkan data contoh dari peubah yang ingin diduga total populasinya (Y). Pendugaan dengan cara seperti ini sering disebut sebagai metode pendugaan langsung (*direct sampling*).

Bila peneliti memiliki data populasi dari suatu peubah lain (X) yang memiliki pengaruh linier terhadap Y , $Y_{i \in r}$ dapat diduga melalui model regresi linier antara X dan Y .

Pendugaan dengan cara seperti ini sering disebut sebagai metode pendugaan tidak langsung (*indirect sampling*). Metode pendugaan total populasi melalui sebuah model sering digunakan dan terus berkembang. Pendugaan total populasi melalui sebuah model bagi data Y yang menyebar lognormal pertama kali diperkenalkan oleh Thorburn [1].

2.2 Sebaran Lognormal

Suatu peubah acak U dikatakan menyebar lognormal bila transformasi $V = \log U$ menyebar normal sehingga peubah acak $V \sim N(\mu, \sigma^2)$ memiliki fungsi kepekatan peluang $f(v)$:

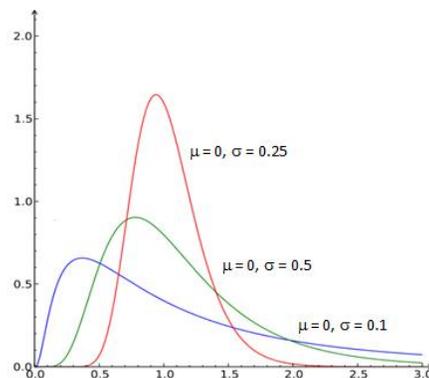
$$f(v|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(v-\mu)^2/2\sigma^2}; \quad -\infty < v < \infty \quad (2)$$

dengan μ (nilai tengah) dan σ^2 (ragam) adalah parameter dari peubah acak V . Dengan demikian fungsi kepekatan peluang untuk sebaran lognormal bagi peubah acak $U \sim \text{lognormal}(\mu, \sigma^2)$ adalah:

$$f(u|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma u} e^{-(\log u - \mu)^2/2\sigma^2}, \quad u > 0; \quad -\infty < \mu < \infty; \quad \sigma > 0. \quad (3)$$

dengan μ dan σ^2 adalah parameter yang sama dengan yang dimiliki peubah acak $V = \log U$.

Gambar 1 menunjukkan bentuk sebaran lognormal pada nilai μ yang sama ($\mu = 0$) dan σ^2 yang berbeda ($\sigma^2 = 0.25, 0.5, 0.1$) di mana semakin besar nilai σ^2 , semakin panjang ekor sebaran ke kanan (data semakin menjulur ke kanan). Sebaran lognormal bersifat menjulur ke kanan dengan nilai rata-rata lebih besar dari median dan median lebih besar dari modus [3].



Gambar 1 Bentuk sebaran lognormal

Nilai harapan dan ragam dari $U \sim \text{lognormal}(\mu, \sigma^2)$ adalah:

$$E(U) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \text{ dan } \text{Var}(U) = (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2}. \quad (4)$$

2.3 Model Penduga

Bila terdapat peubah respon hasil transformasi logaritma $Z = \log Y$ dengan peubah penjelas $\mathbf{X}_i = (1 \ X_{i1} \ \dots \ X_{ik})'$, maka dari gugus data contoh s akan diperoleh:

$$\mathbf{Z}_s = (1 \ Z_{I(1)} \ \dots \ Z_{I(n)})'$$

dan

$$\mathbf{X}_s = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ X_{1I(1)} & X_{1I(2)} & \dots & X_{1I(n)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{kI(1)} & X_{kI(2)} & \dots & X_{kI(n)} \end{pmatrix}$$

di mana $I(i)$ adalah indeks fungsi contoh untuk $1 \leq i \leq n$ sehingga:

$$I(1) < \dots < I(n) \text{ dan } \{I(1) < \dots < I(n)\} = s.$$

Matriks $\mathbf{X}_s \mathbf{X}_s'$ adalah matriks definit positif sehingga untuk sepasang observasi dari gugus data r diperoleh:

$$a_{ij} = \mathbf{X}_i' (\mathbf{X}_s \mathbf{X}_s')^{-1} \mathbf{X}_j \quad (5)$$

dengan a_{ij} yang akan bernilai 0 bila $n \rightarrow \infty$ [1]. Selanjutnya akan diperoleh penduga untuk $\mathbf{Z}_{i \in r} : \hat{Z}_i = \mathbf{X}_i \hat{\boldsymbol{\beta}}$, dengan $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ adalah penduga tak bias yang diperoleh melalui metode kemungkinan maksimum dengan nilai harapan \hat{Z}_i dan ragam \hat{Z}_i sebagai berikut:

$$E(\hat{Z}_i) = \mathbf{X}_i \hat{\boldsymbol{\beta}} = E(Z_i); \text{Var}(\hat{Z}_i) = \text{Var}(\mathbf{X}_i \hat{\boldsymbol{\beta}}) = \mathbf{X}_i' \text{Var}(\hat{\boldsymbol{\beta}}) \mathbf{X}_i = \sigma^2 a_{ii}, \quad (6)$$

sehingga dari hasil transformasi balik diperoleh:

$$\hat{Y}_i = \exp(\hat{Z}_i) \exp\left(\frac{\hat{\sigma}^2}{2} (1 - a_{ii}) - \frac{\hat{\sigma}^4}{4n}\right). \quad (7)$$

Dengan asumsi bahwa $\hat{\sigma}^2$ dan \hat{Z}_i saling bebas dapat dibuktikan bahwa \hat{Y}_i adalah pendekatan bagi penduga tak berbias Y_i [4]. Dengan begitu model penduga bagi total populasi adalah sebagai berikut [1]:

$$T = \sum_{i \in s} y_i + \sum_{i \in r} y_i = \sum_{i \in s} \exp(Z_i) + \sum_{i \in r} \exp(\hat{Z}_i) \exp\left(\frac{\hat{\sigma}^2}{2} (1 - a_{ii}) - \frac{\hat{\sigma}^4}{4n}\right) \quad (8)$$

3 METODE PENELITIAN

3.1 Bahan

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data simulasi dan data riil. Karakteristik data simulasi yang dibangkitkan sama dengan karakteristik data contoh dari peubah pengeluaran rumah tangga (Y) Kota Bogor hasil Susenas 2007 di mana $Y \sim \text{lognormal}(14.3, 0.28)$. Data simulasi dibangkitkan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Bangkitkan satu gugus data (X, Y) yang terdiri dari:
 - a. $X \sim N(3.15, 0.02)$ sebanyak $N = 1000$, X sebagai peubah penjelas.
 - b. $\varepsilon \sim N(0, 0.2)$ sebanyak $N = 1000$.
 - c. Tentukan $\beta_0 = 8$ dan $\beta_1 = 2$ kemudian hitung Z di mana $Z = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$.
 - d. Hitung $Y = e^Z$ sehingga $Y \sim \text{lognormal}(14.3, 0.28)$.
2. Ulangi langkah satu sebanyak $r = 2000$ kali sehingga diperoleh 2000 gugus data.
3. Hitung dan simpan $T = \sum_{i=1}^N Y_i$ dari setiap gugus data yang dibangkitkan.

Data riil yang digunakan yaitu data peubah pengeluaran rumah tangga (Y) dan luas kavling (X) dari hasil Susenas Kota Bogor tahun 2007. Keduanya berfungsi sebagai sumber data sebagai contoh, $Y_{i \in S}$ dan $X_{i \in S}$. Data tersebut dilengkapi oleh data pendekatan luas kavling (X_i) sebagai sumber data peubah penjelas untuk elemen yang tidak terambil sebagai contoh, $X_{i \in r}$. Data pendekatan luas kavling (X_i) diperoleh dari:

$$X_i = \frac{LNP_i}{LNP} \times TLP$$

dengan:

- X_i = rata-rata luas kavling kelurahan ke- i
- LNP_i = luas lahan non pertanian kelurahan ke- i *
- LNP = luas lahan non pertanian Kota Bogor*
- TLP = total luas lahan pemukiman Kota Bogor**

*) Sumber: Kecamatan dalam Angka 2008

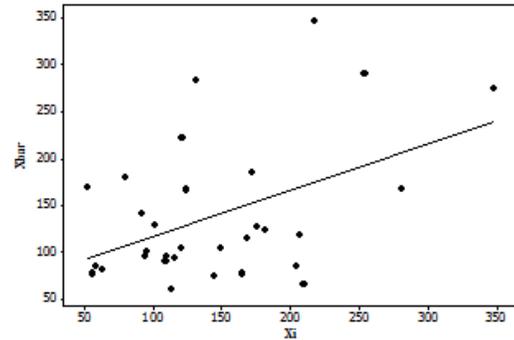
**) Sumber: Bapedda Kota Bogor 2007

Peubah X dipilih berdasarkan nilai korelasi pearson yang cukup besar, arah hubungan yang sesuai, dan kemudahan untuk memperoleh data. Rincian peubah-peubah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Adapun Gambar 2 menunjukkan diagram pencar rata-rata luas kavling di tiap kelurahan (\bar{X}) dengan X_i . Pola linier pada diagram pencar

menunjukkan bahwa X_i cukup baik untuk menduga luas kavling pada rumah tangga yang tidak terambil sebagai contoh.

Tabel 1 Peubah-peubah pada data riil

Peubah	Keterangan
X	luas kavling (m^2)
Y	rata-rata pengeluaran per kapita rumah tangga (rupiah)
X_i	rata-rata luas kavling kelurahan ke-i (m^2)



Gambar 2 Diagram pencar rata-rata aktual luas kavling (\bar{X}) vs pendekatan rata-rata luas kavling (X_i)

3.2 Metode

Model Based Simulation merupakan salah satu teknik simulasi di mana peneliti menentukan terlebih dahulu desain parameter, respon, dan meta model [5]. Pada penelitian ini digunakan parameter $\beta_0 = 8$ dan $\beta_1 = 2$, satu peubah respon, dan regresi linier sederhana sebagai meta model. Kajian pada penelitian ini ditutup dengan mengaplikasikan temuan dari simulasi pada data survei yaitu data Susenas di Kota Bogor tahun 2007.

Tiga model penduga total populasi yang digunakan baik dalam simulasi maupun aplikasi data riil meliputi:

- a. Penduga M1:

$$T = \sum_{i=1}^N Y_i = \sum_{i \in S} Y_i + \sum_{i \in r} \hat{Y}_i \quad (9)$$

dengan: $\hat{Y} = \hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ dan $\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$.

- b. Penduga M2:

$$T = \sum_{i=1}^N Y_i = \sum_{i \in S} Y_i + \sum_{i \in r} \hat{Y}^*_i \quad (10)$$

dengan: $\hat{Y}^*_i = \exp\left(\hat{\mu}^* + \frac{\hat{\sigma}^{*2}}{2}\right)$, $\hat{\mu}^* = E(\log(Y_i)) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(Y_i)$, dan $\hat{\sigma}^{*2} = \text{Var}(\log(Y_i))$.

- c. Penduga M3 (Model Karlberg):

$$T = \sum_{i=1}^N Y_i = \sum_{i \in S} Y_i + \sum_{i \in r} \hat{Y}^{**}_i \quad (11)$$

dengan: $\widehat{Y}^{**}_i = \exp(\widehat{Z}_i) \exp\left(\frac{\widehat{\sigma}^{**2}}{2} (1 - a_{ii}) - \frac{\widehat{\sigma}^{**4}}{4n}\right)$, $\widehat{Z}_i = \widehat{\mu}^{**} = \mathbf{X}_i \widehat{\boldsymbol{\beta}}$, dan $\widehat{\sigma}^{**2} = \text{KTG}$ dari pendugaan model linier $\log(Y_i) = \mathbf{X}_i \boldsymbol{\beta} + \varepsilon_i$.

3.2.1 Simulasi Berbasis Model (*Model Based Simulation*)

Langkah- langkah yang dilakukan dalam simulasi berbasis model adalah sebagai berikut:

1. Lakukan penarikan contoh acak tanpa pengembalian dengan 4 kombinasi ukuran contoh n ($n = 15, 30, 50, 100$) pada tiap gugus data yang telah dibangkitkan.
2. Lakukan pendugaan total populasi \widehat{T} dengan tiga metode pendugaan (M1, M2, dan M3).
3. Evaluasi \widehat{T} terhadap T dengan ARB (*Average of Relative Bias*), RLMSE (*Relative Mean Square Error*), MSE (*Mean Square Error*), dan AARB (*Average of Absolute Relative Bias*). Keempat ukuran untuk mengevaluasi penduga parameter tersebut dihitung dari:

$$\text{ARB} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left(\frac{\widehat{T} - T}{T} \right) \times 100\%$$

$$\text{RLMSE} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left(\frac{\widehat{T} - T}{T} \right)^2 \times 100\%$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r (\widehat{T} - T)^2$$

$$\text{AARB} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left| \frac{\widehat{T} - T}{T} \right| \times 100\%$$

4. Bandingkan keempat ukuran evaluasi penduga parameter yang diperoleh dari langkah 3 pada penggunaan n dan metode pendugaan yang berbeda.

3.2.2 Aplikasi Data Riil Susenas Kota Bogor 2007

Langkah-langkah yang dilakukan pada aplikasi data riil Susenas 2007 adalah sebagai berikut:

1. Eksplorasi data dan tentukan bentuk sebaran dari peubah Y (pengeluaran rumah tangga) dan $\log Y$.
2. Lakukan pendugaan total populasi \widehat{T} pada tingkat kota, kecamatan, dan kelurahan dengan tiga model penduga.
3. Lakukan evaluasi penduga dengan menghitung RMSE (*Root Mean Square Error*) sebagai akar dari:

$$\text{MSE}_{\text{MI}} = \widehat{\sigma}^2 \frac{(N-n)}{N} \left(\frac{(N-n)^2}{n} + (N-1) \right)$$

$$MSE_{M2} = e^{\hat{\sigma}^2} (e^{\hat{\sigma}^2} - 1) \sum_{i \in r} e^{2\mu} + (N - n)^2 (e^{\hat{\sigma}^{*2}} - 1) e^{2\hat{\mu} + \hat{\sigma}^{*2}}$$

$$MSE_{M3} = \sum_{i \in r} e^{\hat{\sigma}^{22}} \text{Var} \left(\sum_{i \in r} e^{X' \hat{\beta}} \right) + \sum_{i \in r} (e^{2\hat{\sigma}^2} - e^{\hat{\sigma}^2}) e^{2X' \hat{\beta}}$$

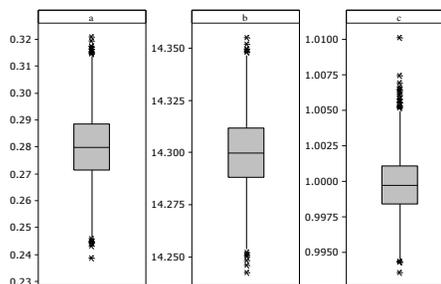
$$RR_{M_i:M_j} = \frac{RMSE_{M_i}}{RMSE_{M_j}} \times 100\%$$

4 PEMBAHASAN

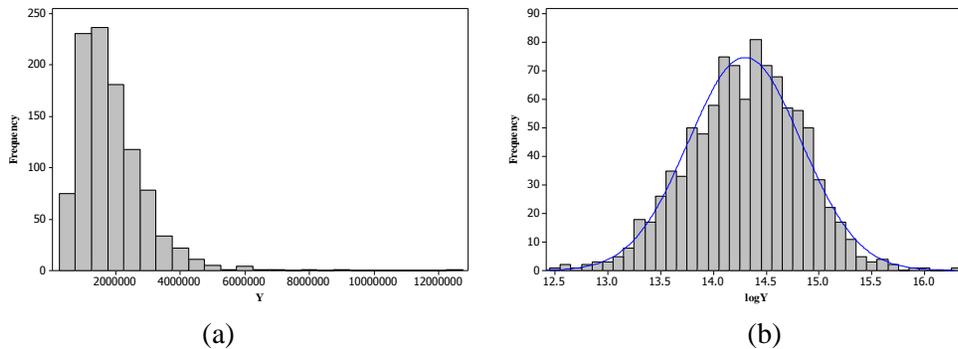
4.1 Kajian Simulasi

Informasi karakteristik data simulasi dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Diperoleh rata-rata parameter (σ^2 , μ) dan indeks lognormal ($LI = \bar{Y} / (e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}})$) peubah $\log Y$ masing-masing sebesar 0.2799, 14.3000, dan 0.9998. Ketiga nilai tersebut mendekati dugaan parameter bagi data aktual pengeluaran rumah tangga Kota Bogor. Sementara itu Gambar 3 menunjukkan rentang nilai untuk masing-masing parameter: $0.24 \leq \sigma^2 \leq 0.32$, $14.24 \leq \mu \leq 0.32$, dan $0.99 \leq LI \leq 1.01$.

Contoh histogram bagi salah satu data populasi bangkitan yang diambil secara acak dapat dilihat pada Gambar 4. (a) dan Gambar 4. (b). Gambar 4. (a) menunjukkan histogram bagi peubah Y yang belum ditransformasi, memberikan bentuk sebaran yang menjulur ke kanan. Gambar 4. (b) merupakan histogram bagi peubah hasil transformasi, $\log Y$, memberikan bentuk histogram yang simetrik.



Gambar 3 Diagram kotak garis parameter (a). σ^2 , (b). μ , dan (c). Indeks lognormal (LI) pada peubah $\log Y$



Gambar 4 (a). Contoh histogram peubah Y dan (b). Contoh histogram peubah $\log Y$

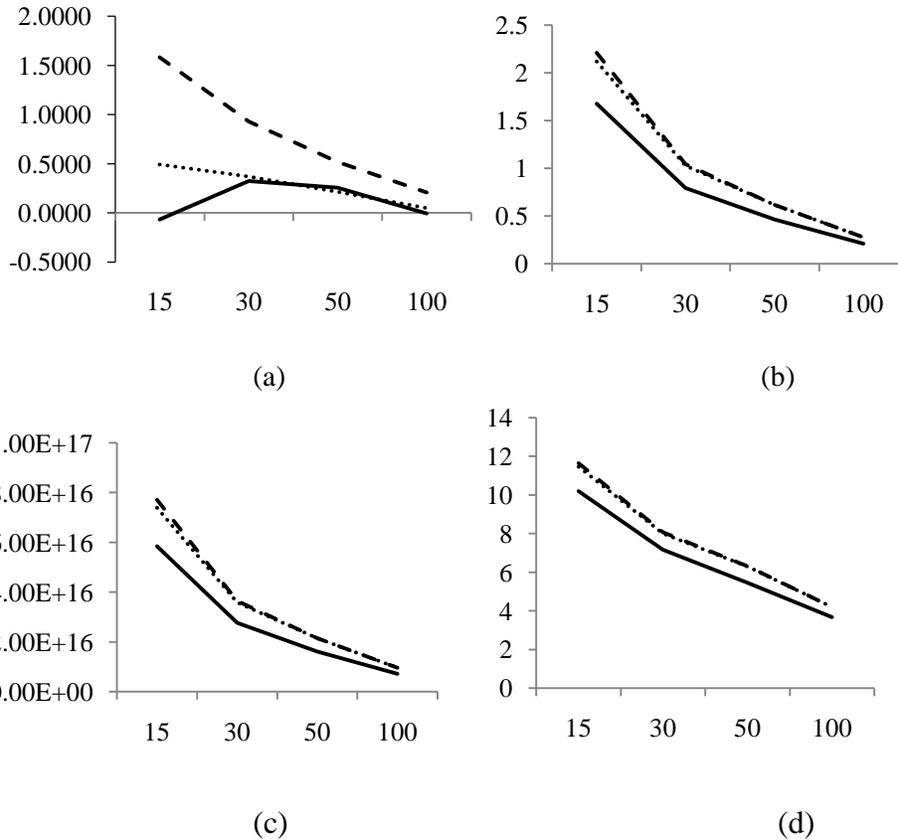
Hasil simulasi pada Tabel 3 menunjukkan perolehan ARB di kisaran 0 pada ketiga penduga. Penduga M1 dan penduga M3 merupakan penduga dengan nilai ARB yang lebih dekat dengan nol bila dibandingkan dengan penduga M2. Nilai ARB yang dihasilkan penduga M2 mendekati nol ketika ukuran contohnya besar ($n = 100$).

Berdasarkan nilai RLMSE, penduga M3 menjadi penduga terbaik di mana pada setiap ukuran contoh nilai RLMSE dari penduga M3 selalu lebih kecil dari dua penduga lainnya. Berbeda dengan ARB, RLMSE yang dihasilkan penduga M1 dan M2 cenderung sama pada setiap ukuran contoh. Hal yang sama juga terjadi pada nilai MSE di mana penduga M3 menjadi penduga terbaik dengan nilai MSE terkecil pada berbagai ukuran contoh, disusul oleh penduga M1 dan penduga M2.

Tabel 3 Nilai ukuran evaluasi bagi hasil pendugaan melalui simulasi

Ukuran evaluasi	Metode pendugaan	Jumlah contoh			
		15	30	50	100
ARB (%)	M1	0.4918	0.3681	0.2146	0.0493
	M2	1.5828	0.9302	0.5198	0.2087
	M3	-0.0670	0.3261	0.2566	-0.0037
RLMSE (%)	M1	2.1215	1.0276	0.6149	0.2753
	M2	2.2119	1.0452	0.6161	0.2760
	M3	1.6767	0.7931	0.4629	0.2080
MSE	M1	7.40×10^{16}	3.58×10^{16}	2.15×10^{16}	9.61×10^{15}
	M2	7.71×10^{16}	3.65×10^{16}	2.15×10^{16}	9.63×10^{15}
	M3	5.85×10^{16}	2.76×10^{16}	1.61×10^{16}	7.26×10^{15}
AARB (%)	M1	11.4707	8.0151	6.2951	4.1990
	M2	11.6421	8.0765	6.3084	4.2054
	M3	10.1984	7.1614	5.4516	3.6683

Melalui nilai RLMSE dan MSE pada Gambar 5. (b) dan Gambar 5. (c) dapat kita lihat adanya pola penggunaan ukuran contoh terhadap ketiga metode pendugaan yang digunakan. Pada kedua ukuran evaluasi tersebut ketiga metode pendugaan mengalami penurunan nilai seiring dengan bertambahnya jumlah contoh yang digunakan, namun laju penurunan RLMSE dan MSE yang terjadi pada penduga M dan penduga M2 lebih besar dari penduga M3. Hal ini menunjukkan bahwa untuk penduga M1 dan M2 ukuran contoh menjadi penentu kecilnya ragam dari penduga total populasi yang dihasilkan. Hal tersebut tidak berlaku bagi penduga M3. Bertambahnya ukuran contoh memang menurunkan nilai RLMSE dan MSE yang dihasilkan, namun besarnya tidak signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa penduga M3 mampu menghasilkan penduga total populasi dengan nilai ragam terkecil pada ukuran contoh yang kecil ($n = 15$). Penduga M1 dan penduga M2 menjadi dua penduga terbaik pada berbagai ukuran evaluasi karena keduanya merupakan penduga tak bias bagi $Y_{i \in r}$. Penduga M2 merupakan bentuk umum dari penduga M3 namun dengan besar ragam yang belum terkoreksi.



Keterangan:

- M1 (pendugaan melalui rata-rata contoh peubah asal)
- - - M2 (pendugaan melalui nilai harapan sebaran lognorma)
- M3 (pendugaan melalui model Karlberg)

Gambar 5 Plot ukuran evaluasi penduga total populasi hasil simulasi vs jumlah contoh yang digunakan: (a). ARB, (b). RLMSE, (c). MSE, dan (d). AARB

Ketika informasi mengenai peubah penjelas dimiliki dengan kualitas peubah penjelas yang baik (ditunjukkan oleh korelasi yang kuat terhadap Y), metode pendugaan secara tidak langsung seperti pada penduga M3 misalnya, menghasilkan penduga total populasi yang lebih baik daripada pendugaan secara langsung (penduga M1 dan M2 misalnya). Salah satu kelemahan metode pendugaan langsung adalah nilai ragam yang besar bila diterapkan pada ukuran contoh yang kecil. Sedangkan pendugaan dengan pemanfaatan peubah penjelas secara statistik memiliki sifat “meminjam kekuatan” (*borrowing strength*) dari hubungan antara

peubah respon dengan peubah penjelas [6]. Penggunaan model sebagai penduga tidak langsung pada total populasi menyebabkan tingkat kesalahan pendugaan terdistribusi tidak hanya pada kesalahan pengacakan (*random error*), tetapi juga pada kesalahan model (*model error*). Pada data simulasi, tingkat kesalahan model (*model error*) kecil karena X memang didesain memiliki korelasi dengan $\log Y$. Hal tersebut menyebabkan penduga M3 menghasilkan penduga total populasi dengan nilai ARB, RLMSE, MSE, dan AARB yang paling kecil bila dibandingkan dengan dua metode pendugaan lain.

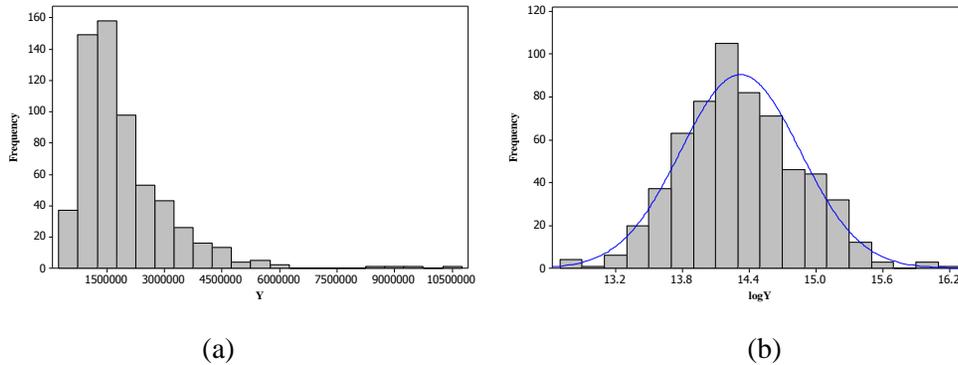
4.2 Aplikasi Data Riil Susenas 2007

Deskripsi data Susenas Kabupaten Bogor 2007 dapat dilihat pada Tabel 4, Gambar 6. (a) dan Gambar 6. (b). Tabel 4 menunjukkan statistik bagi peubah pengeluaran rumah tangga di Kota Bogor yang memiliki ragam Rp. 1,42 milyar dan rata-rata sebesar Rp. 1,93 juta. Statistik *skewness* sebesar 2.43 (*skewness* > 0), menunjukkan bahwa peubah Y *positive skew* (menjulang ke kanan). Sementara itu nilai *kurtosis* sebesar 10.48 (*kurtosis* > 3), menunjukkan bahwa bagian atas dari kurva sebaran sangat runcing atau *leptokurtic*. Statistik *skewness* dan *kurtosis* menunjukkan bahwa peubah asal, Y , jauh dari karakteristik sebaran normal.

Tabel 4 Penduga parameter (σ^2 dan μ), skewness, dan kurtosis peubah Y (pengeluaran rumah tangga)

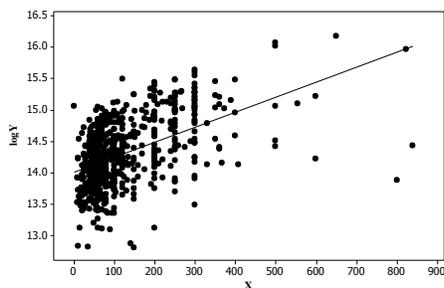
$\widehat{\sigma^2}$	$\hat{\mu}$	<i>Skewness</i>	<i>Kurtosis</i>
1.42×10^{12}	1.93×10^6	2.43	10.48

Gambar 6. (a) dan Gambar 6. (b) menunjukkan bentuk sebaran dari peubah Y dan peubah $\log Y$. Bentuk histogram pada Gambar 6. (a) menjulang ke kanan sedangkan bentuk histogram pada Gambar 6. (b) simetrik. Hal ini menunjukkan bahwa transformasi logaritmik pada data aktual pengeluaran rumah tangga Kota Bogor (Y) mampu memperbaiki kesimetrian data.



Gambar 6 (a). Histogram peubah Y dan (b). Histogram peubah $\log Y$

Kota Bogor terdiri dari 6 kecamatan dan 68 kelurahan. Seluruh kecamatan terambil sebagai contoh pada Susenas 2007 dengan rincian sebanyak 32 kelurahan terpilih dan total 608 rumah tangga menjadi responden. Sedangkan peubah penjelas yang dipilih pada aplikasi data riil adalah luas kavling (X). Korelasi Pearson yang dihasilkan oleh peubah $\log Y$ dan X sebesar 0,502 dan besarnya korelasi signifikan pada taraf nyata 5%. Pola hubungan antara peubah $\log Y$ dan X dapat dilihat pada Gambar 7 sedangkan ringkasan model bagi penduga M3 dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 7 Diagram pencar X terhadap $\log Y$

Tabel 5 Ringkasan model bagi penduga M3

Penduga	Nilai	p-value
$\widehat{\beta}_1$	14.0125	0.0000
$\widehat{\beta}_0$	0.0024	0.0000
R-Sq	25.183%	

Secara umum penduga total pengeluaran rumah tangga di Kota Bogor yang dihasilkan oleh ketiga metode pendugaan tidak saling berjauhan. Penduga M1 menjadi penduga dengan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) terkecil, disusul oleh penduga M3 dan M2. Nilai R-Sq pada model penduga M3 menjadi indikasi besarnya nilai RMSE yang

dihasilkan. Hasil pendugaan total pengeluaran rumah tangga Kota Bogor dapat dilihat pada Tabel 6.

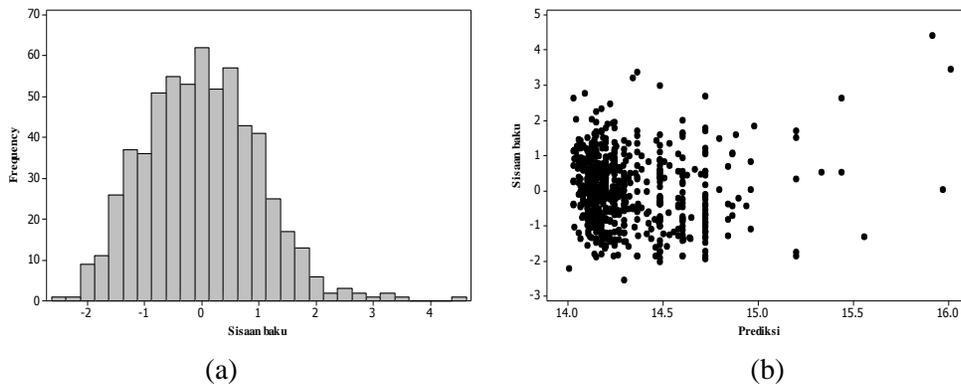
Tabel 6 Hasil pendugaan total pengeluaran rumah tangga di Kota Bogor tahun 2007

Metode	\hat{T}	RMSE
M1	3.96723×10^{12}	9.884×10^9
M2	3.93323×10^{12}	226.143×10^9
M3	4.11436×10^{12}	14.516×10^9

Pendugaan total pengeluaran rumah tangga pada tingkat kecamatan dan kelurahan memberikan hasil yang tidak jauh berbeda dengan pendugaan total populasi pada tingkat kota. Penduga M1 dan penduga M3 menjadi dua penduga yang menghasilkan nilai RMSE terkecil. Pada pendugaan di tingkat kecamatan, penduga M3 memberikan hasil terbaik dengan RMSE terkecil di Kecamatan Bogor Timur, Kecamatan Bogor Utara, dan Kecamatan Bogor Tengah. Hubungan linier yang kuat antara peubah luas kavling dengan pengeluaran rumah tangga terjadi pada ketiga wilayah tersebut. Sementara itu, pendugaan di tingkat kelurahan menunjukkan hasil yang hampir sama. Pada kelurahan dengan nilai korelasi antara X dan $\log Y$ yang cukup besar cenderung menghasilkan penduga M3 dengan nilai RMSE yang lebih kecil dari RMSE yang dihasilkan penduga M1 dan penduga M2.

Pada aplikasi data riil Susenas 2007 Kota Bogor, penduga M3 menghasilkan penduga total populasi dengan nilai RMSE terkecil bila nilai $R-Sq$ yang dihasilkan model Karlberg cukup besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemilihan peubah penjelas yang digunakan untuk membangun model Karlberg sangat mempengaruhi ragam dari penduga total populasi yang dihasilkan.

Gambar 8. (a) dan Gambar 8. (b) menunjukkan informasi mengenai sebaran sisaan dari model penduga pada pendugaan total pengeluaran rumah tangga di Kota Bogor. Melalui histogram secara sederhana dapat kita lihat bahwa sisaan baku yang dihasilkan penduga M3 memberikan bentuk sebaran yang cukup simetrik. Pencaran $\log Y$ duga (prediksi) terhadap sisaan yang dihasilkan model dari penduga M3 juga bersifat acak dengan pita mendatar, menunjukkan ragam sisaan yang homogen. Kedua informasi tersebut menunjukkan bahwa transformasi logaritmik mampu memperbaiki pola sisaan yang dihasilkan pada pendugaan tidak langsung seperti pada penduga M3.



Gambar 8 (a). Histogram sisaan baku penduga M3 dan (b). Diagram pencar prediksi vs sisaan baku penduga M3

5 KESIMPULAN

Pendugaan total populasi melalui model Karlberg (M3) pada data bangkitan dengan sebaran lognormal memberikan hasil yang lebih baik bila dibandingkan dengan metode pendugaan langsung, yaitu dengan rata-rata contoh peubah asal (M1) dan nilai harapan sebaran lognormal (M2). Keunggulan utama dari model penduga adalah kemampuannya dalam memberikan penduga total populasi yang baik pada ukuran contoh yang kecil.

Pada aplikasi data Susenas 2007 di Kota Bogor dengan $n = 608$, M1 memiliki RMSE yang paling kecil dibandingkan dengan metode pendugaan lain. Hal tersebut terjadi karena sifat penduga M1 yang tidak bias dan didukung oleh ukuran contoh yang besar.

Pada pendugaan total populasi di tingkat kelurahan dengan ukuran n yang kecil ($n = 16$ hingga $n = 32$), M3 tidak selalu menjadi penduga total populasi dengan RMSE terkecil. Namun begitu, model Karlberg pada penduga M3 mampu memperbaiki kekurangan pada penduga total populasi. Perbaikan terjadi pada besar ragam (RMSE) yang tidak sebesar penduga M1 dan penduga M2. Namun begitu, peubah penjelas yang digunakan pada penduga M3 akan menentukan kualitas penduga total populasi yang dihasilkan. Secara umum, semakin besar korelasi antara X dan $\log Y$, semakin baik penduga total populasi yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Karlberg F. 2002. *Population Total Prediction Under a Lognormal Superpopulation Model*. Biostatistics and Data Management, R & D Sweden, Pharmacia Corp SE-112 87:53-79.
- [2] Scheaffer R. L, Mendenhall W, & Ott L. 1990. *Elementary Survey Sampling 4th ed.* Boston: PWS-KENT Publishing Company.
- [3] Mitzenmacher M. 2003. *A Brief History of Generative Models for Power Law and Lognormal Distributions*. Division of Engineering and Applied Sciences Harvard University pp. 1-4.
- [4] Casella G & Berger R. 1990. *Statistical Inference*. California: Duxbury Express.
- [5] Stinstra E. D. 2006. *The Meta-Model Approach for Simulation-Based Design Optimization [Thesis]*. Tilburg University, Geboren, Deutsch.
- [6] Kurnia A. 2009. *Prediksi Terbaik Empirik untuk Model Logaritma di dalam Pendugaan Area Kecil dengan Penerapan pada Data Susenas [Disertasi]*. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

METODE REGRESI *LEAST TRIMMED SQUARES* PADA DATA YANG MENGANDUNG PENCILAN

Anni Fithriyatul Mas'udah, Anang Kurnia, Dian Kusumaningrum

Departemen Statistika FMIPA IPB
Email : anni_stk45@yahoo.com

ABSTRAK

Regresi merupakan metode statistika yang digunakan untuk menduga pola hubungan antara dua atau lebih peubah. Metode pendugaan parameter yang umum digunakan dalam regresi linier adalah metode kuadrat terkecil atau *ordinary least squares* (OLS), namun metode ini tidak baik digunakan apabila data pada peubah respon mengandung pencilan. Adanya pencilan akan mengakibatkan pendugaan parameter yang dihasilkan berbias dan interpretasi kesimpulan menjadi tidak valid. Pada kasus terdapat pencilan, alternatif metode yang dapat digunakan adalah regresi kekar. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *least trimmed squares* (LTS) dengan dua kriteria pemangkasan yang berbeda (LTS dan LTS_1). LTS melakukan pemangkasan berdasarkan teori Rousseeuw dan Van Driessen (1999), sedangkan LTS_1 merupakan aplikasi pemangkasan yang dilakukan pada mutlak sisaan baku lebih dari dua. Untuk mengetahui tingkat kekekaran metode LTS dan LTS_1 dibandingkan dengan OLS dilakukan kajian simulasi dan penerapan pada data riil. Simulasi dilakukan untuk ukuran contoh ($n = 15, 30, 100, 200$) dan tingkat persentase pencilan yang berbeda (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20) dengan ulangan sebanyak 1000 kali pada masing-masing kombinasi ukuran contoh dan persentase pencilan. Adapun aplikasi pada data riil memiliki ukuran contoh 35 dan pencilan delapan persen. Hasil yang didapatkan dari simulasi dan data riil metode LTS lebih baik dibandingkan metode OLS dan LTS_1 dalam menduga parameter regresi. LTS memiliki nilai bias relatif, bias relatif mutlak, KTG relatif, dan KTG yang relatif konstan dan kekar untuk berbagai kondisi pencilan dan ukuran contoh.

Kata kunci : Regresi, pencilan, metode kekar

1 PENDAHULUAN

Regresi merupakan suatu metode statistika yang digunakan untuk menduga pola hubungan antara dua peubah atau lebih. Pada keadaan riil tidak menutup kemungkinan bahwa peubah yang digunakan memiliki nilai dengan pola yang berbeda dibandingkan dengan pola umum lainnya. Keadaan tersebut didefinisikan sebagai pencilan [1].

Menurut Ryan [2] pencilan merupakan salah satu penyebab tidak terpenuhinya salah satu asumsi regresi linier dengan metode *ordinary least square* (OLS) yaitu homoskedastisitas. Pada OLS semua data akan mendapatkan bobot yang sama. Namun keberadaan pencilan akan mengakibatkan pengamatan mengandung informasi yang lebih dibandingkan yang lain,

sehingga pengamatan tersebut seharusnya mendapatkan bobot yang berbeda dibandingkan pengamatan yang lain.

Pencilan dapat teridentifikasi dengan melihat besarnya sisaan yang dibakukan antara peubah respon dengan dugaannya. Apabila nilai mutlak sisaan baku tersebut lebih dari dua maka disebut pencilan. Keberadaan pencilan mengakibatkan parameter yang dihasilkan bersifat bias dan interpretasi kesimpulan menjadi tidak valid sehingga dapat menimbulkan kesalahan dalam pengambilan keputusan dan kesimpulan. Masalah tersebut dapat diatasi dengan menggunakan alternatif pendugaan yang bersifat kekar. Salah satu metodenya adalah *least trimmed square* (LTS) [3].

LTS dan LTS_1 merupakan suatu penduga untuk menghasilkan dugaan yang kekar terhadap pencilan dengan karakteristik pemangkasan yang berbeda, sehingga relatif tidak terpengaruh oleh perubahan karena adanya pencilan yang terjadi. Untuk mengetahui kekekaran metode LTS, LTS_1 , dan OLS tersebut maka perlu dilakukan simulasi terhadap data yang mengandung pencilan. Selain menggunakan simulasi penelitian ini juga menggunakan analisis terhadap data riil.

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kekekaran metode *least trimmed squares* dalam menduga parameter regresi pada berbagai proporsi pencilan dan berbagai ukuran contoh.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Regresi Linier Sederhana

Menurut Ryan [2] regresi linier sederhana adalah regresi yang memiliki satu peubah bebas dan memiliki parameter model yang linier. Model regresinya adalah :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$$

dengan : β_0 dan β_1 adalah parameter regresi, ε adalah sisaan, peubah respon Y , dan peubah bebas X .

Pada dasarnya rancangan ini menggunakan metode OLS dalam menduga β_0 dan β_1 yaitu dengan cara meminimumkan jumlah kuadrat sisaan (JKS):

$$\min JKS = \min \sum_{i=1}^n e_i^2 = \min \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \min \sum_{i=1}^n [y_i - (b_0 + b_1 x_i)]^2.$$

Pada analisis regresi linier sederhana untuk mendapatkan penduga parameter yang baik maka sisaan harus memenuhi asumsi Gauss-Markov, yaitu :

1. $E[\varepsilon_i] = 0$ (nilai harapan/rataan sisaan sama dengan nol)
2. $E[\varepsilon_i^2] = \sigma^2$ (ragam sisaan homogen untuk setiap nilai x)
3. $E[\varepsilon_i \varepsilon_j] = 0, i \neq j$ (ε_i dan ε_j saling bebas).

Selain itu sisaan juga merupakan peubah acak yang menyebar normal dengan rataaan nol dan ragam σ^2 .

2.2 Regresi Kekar *Least Trimmed Squares*

Regresi kekar diperkenalkan oleh Andrews pada tahun 1972. Regresi kekar merupakan metode regresi yang digunakan ketika distribusi dari *sisaan* tidak normal dan atau adanya beberapa *pencilan* yang berpengaruh pada model [2]. Metode kekar merupakan metode yang dapat menghasilkan model yang relatif tidak terpengaruh oleh adanya pencilan. Menurut Rousseeuw dan Leroy [4] dengan menggunakan pendekatan regresi kekar maka adanya pencilan tidak akan mempengaruhi pendugaan parameter.

Metode LTS merupakan salah satu model regresi kekar dengan adanya pencilan. Metode ini akan memangkas (memberi bobot nol) pada sisaan yang terbesar pada saat meminimumkan jumlah kuadrat sisaan. Metode ini menduga koefisien regresi dengan meminimumkan jumlah h kuadrat sisaan (fungsi objektif) :

$$\min \sum_{i=1}^h e_i^2$$

dengan $h = (n + p + 1)/2$, dan

- e_i^2 : Kuadrat sisaan yang diurutkan dari kecil ke terbesar
- n : banyaknya pengamatan
- p : banyaknya parameter regresi
- h : subset data dengan yang diambil.

Penentuan subhimpunan h terbaik dilakukan dengan menggunakan algoritma FAST-*Minimum Covariance Determinant* (MCD) [5]. Adapun algoritma tersebut sebagai berikut :

- a. Ambil sejumlah h pengamatan dari subset data $\mathbf{Z}_i = (\mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i)$ yang berbeda. Dari n pengamatan akan dihasilkan $\binom{n}{h}$ himpunan baru. Nilai h yang optimal memenuhi $(n + p + 1)/2$.
- b. Definisikan himpunan pertama sebagai H_1 . Berdasarkan himpunan H_1 hitung vektor rata-rata dan matrik ragam peragam $(\bar{\mathbf{Z}}_1, \mathbf{S}_1)$. Selanjutnya hitung $\det(\mathbf{S}_1)$.

- c. Definisikan himpunan kedua H_2 . Berdasarkan himpunan H_2 hitung vektor rata-rata dan matrik ragam peragam $(\bar{\mathbf{Z}}_2, \mathbf{S}_2)$. Selanjutnya hitung $\det(\mathbf{S}_2)$.
- d. Bandingkan $\det(\mathbf{S}_2)$ dengan $\det(\mathbf{S}_1)$. Bila $\det(\mathbf{S}_2) \neq \det(\mathbf{S}_1)$ simpan yang mempunyai nilai terkecil, ulangi langkah untuk himpunan H_{new} . Berdasarkan himpunan H_{new} hitung vektor rata-rata dan matrik ragam peragam $(\bar{\mathbf{Z}}_{\text{new}}, \mathbf{S}_{\text{new}})$, selanjutnya hitung $\det(\mathbf{S}_{\text{new}})$ berikutnya sampai dipenuhi kondisi $\det(\mathbf{S}_{m+1}) = \det(\mathbf{S}_m)$.
- e. Tetapkan anggota himpunan H_m sebagai himpunan dengan determinan matrik ragam peragam terkecil.
- f. Berdasarkan H_m data selanjutnya diberi bobot.

$$w_i = \begin{cases} 1 & \text{jika } (\mathbf{Z}_i - \bar{\mathbf{Z}}_m)^t \mathbf{S}_m^{-1} (\mathbf{Z}_i - \bar{\mathbf{Z}}_m) \leq \chi_{p,0,975}^2 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$
- g. Meregresikan H_m pengamatan yang mendapatkan bobot satu.

Selain LTS yang dikembangkan oleh Rousseeuw dan Van Drisen [5] dengan pemangkasan pada h akan dilakukan pendugaan parameter LTS_1 . Pemangkasan LTS_1 dilakukan pada nilai mutlak r_i (sisaan yang dibakukan) lebih dari dua.

3 METODE PENELITIAN

3.1 Bahan

Data yang digunakan adalah data hasil simulasi dengan parameter regresi (β_0 dan β_1) yang telah ditentukan. Data simulasi yang dibangkitkan terdiri dari satu peubah bebas dan sisaan yang kemudian digunakan untuk mencari peubah responnya. Peubah bebas dibangkitkan dari sebaran normal dengan nilai harapan μ_x dan ragam σ_x^2 sebanyak 1000. Sisaan yang dibangkitkan terdiri dari dua bagian yaitu sisaan untuk pencilan dan bukan pencilan. Kedua sisaan dibangkitkan dari sebaran normal dengan proporsi 200 untuk data pencilan dan 800 untuk data bukan pencilan. Simulasi dilakukan menggunakan *software* R dengan paket *robustbase*.

Selain simulasi dilakukan evaluasi pendugaan parameter regresi pada data riil yang diperoleh dari Chatterjee & Hadi [6] halaman 112 tentang data hubungan jarak ketinggian bukit dengan waktu yang diperlukan untuk pendakian.

3.2 Metode

3.2.1 Simulasi

Prosedur simulasi yang dilakukan adalah menggunakan *Model Based Simulation* dengan algoritma sebagai berikut :

1. Tetapkan β_0 dan β_1 ($\beta_0=10$ dan $\beta_1=2$).
2. Bangkitkan $X_i \sim N(\mu_x, \sigma_x^2)$ sebanyak 1000 dengan $\mu_x =5$ dan $\sigma_x^2 =1$.
3. Bangkitkan ε_i yang bersesuaian dengan X_i untuk :
$$\varepsilon_i \begin{cases} \varepsilon_i \sim N(0,1) & \text{untuk data bukan pencilan} \\ \varepsilon_i \sim N(20,1) & \text{untuk data pencilan.} \end{cases}$$
4. Tentukan nilai $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$.
5. Dari data bangkitan yang diperoleh, diambil contoh acak berukuran $n=15, 30, 100,$ dan 200 dengan masing-masing proporsi pencilan $0\%, 5\%, 10\%, 15\%,$ dan 20% .
6. Eksplorasi data untuk melihat banyaknya pencilan dengan diagram pencar.
7. Meregresikan semua gugus data dengan menggunakan OLS, LTS, dan LTS_1 . Adapun langkah LTS seperti pada Tinjauan Pustaka, sedangkan LTS_1 dapat diperoleh dari algoritma dibawah ini :
 - a. Mengitung penduga parameter b_{awal} dengan OLS.
 - b. Menghitung n residual (e_i^2) yang bersesuaian dengan b_{awal} .
 - c. Menentukan t residual (e_i^2)* untuk
$$(x_i^*, y_i^*) = \begin{cases} (x_i, y_i), & \left| \frac{e_i}{s} \right| \leq |r_i| \\ trimmed(x_i, y_i), & \left| \frac{e_i}{s} \right| > |r_i|. \end{cases}$$
 - d. Hitung $\sum_{i=1}^t (e_i^2)^*$.
 - e. Menghitung pendugaan b_{new} dari pengamatan yang bersesuaian dengan $(e_i^2)^*$.
 - f. Menghitung t residual $e_{i_{new}}^2$ yang bersesuaian dengan b_{new} .
 - g. Hitung $\sum_{i=1}^t (e_{i_{new}}^2)^*$.
8. Simpan nilai b_0, b_1, R^2, JKG dan KTG dari tiap gugus data.
9. Ulangi langkah 1-8 sebanyak 1000 kali.
10. Menentukan bias relatif, bias relatif mutlak, KTG relatif, dan KTG dari kombinasi n dan proporsi pencilan yang berbeda.

11. Menentukan metode yang menghasilkan dugaan paling baik berdasarkan nilai bias relatif, bias relatif mutlak, KTG relatif, dan KTG terkecil, dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Bias relatif} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left(\frac{\hat{\beta} - \beta}{\beta} \right) \times 100\% ; \quad \text{Bias relatif mutlak} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left| \frac{\hat{\beta} - \beta}{\beta} \right| \times 100\% ;$$

$$\text{KTG relatif} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left(\frac{\hat{\beta} - \beta}{\beta} \right)^2 \times 100\% ; \quad \text{KTG} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r (\hat{\beta} - \beta)^2$$

Keterangan : $\hat{\beta}$: dugaan parameter
 β : Parameter
 r : banyaknya ulangan.

3.2.2 Penerapan Pada Data Riil

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian untuk contoh aplikasi adalah :

1. Eksplorasi data.
2. Menduga parameter menggunakan OLS.
3. Menduga parameter dengan menggunakan LTS dan LTS_1 .

4 PEMBAHASAN

4.1 Kajian Simulasi

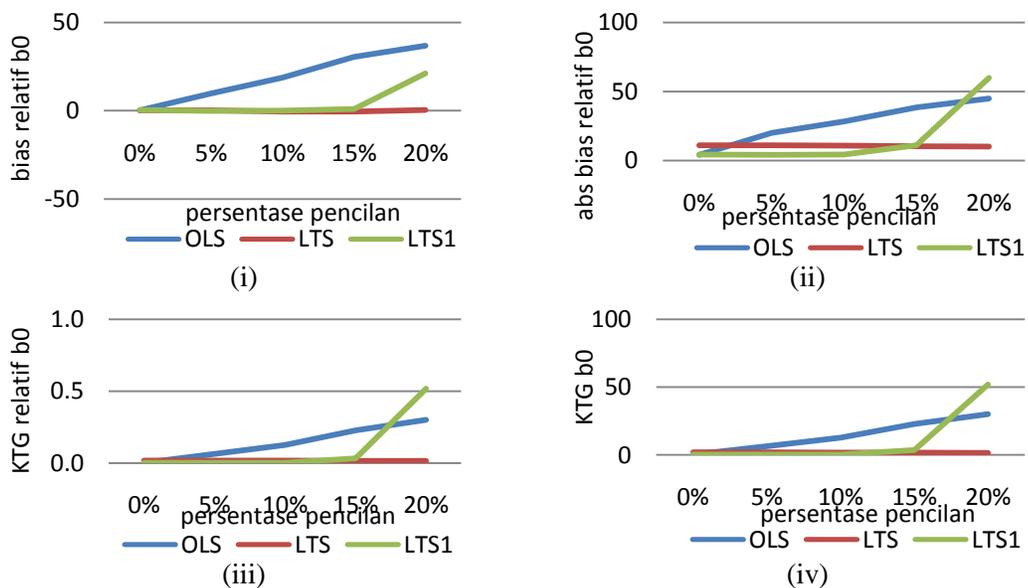
Pencilan yang digunakan dalam simulasi ini ditentukan sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Metode pendugaan parameter regresi yang digunakan adalah OLS, LTS, dan LTS_1 yang masing-masing mempunyai kriteria tersendiri untuk menghasilkan pendugaan yang kekar terhadap pencilan. Evaluasi penentuan metode yang terbaik adalah menggunakan bias relatif, bias relatif mutlak, KTG relatif, dan KTG.

4.1.1 Pendugaan Parameter β_0

Gambar 1 menyajikan informasi bias relatif, bias relatif mutlak, KTG relatif dan KTG dari pendugaan β_0 untuk setiap kombinasi ukuran contoh dan proporsi pencilan pada ukuran contoh = 100. LTS dan LTS_1 menunjukkan bias relatif yang sangat kecil untuk setiap kombinasi perlakuan walaupun LTS_1 masih memberikan nilai yang lebih besar untuk kasus ukuran contoh 15 dengan proporsi pencilan lebih besar atau sama dengan 10% sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Bias relatif β_0

n	p	BIAS RELATIF (%)		
		OLS	LTS	LTS1
15	0	0.00	0.01	0.00
	5	0.26	-0.02	0.00
	10	0.49	0.00	-0.15
	15	0.50	-0.01	-0.13
	20	0.65	0.00	-0.26
30	0	0.00	-0.01	0.00
	5	0.14	0.00	0.00
	10	0.23	-0.01	-0.01
	15	0.30	-0.01	-0.04
	20	0.48	0.00	-0.10
100	0	0.00	0.00	0.00
	5	0.10	0.00	0.00
	10	0.19	0.00	0.00
	15	0.31	0.00	0.00
	20	0.37	0.00	0.04
200	0	0.00	0.00	0.00
	5	0.10	0.00	0.00
	10	0.20	0.00	0.00
	15	0.30	0.00	0.00
	20	0.40	0.00	0.00



Gambar 1 Karakteristik pendugaan nilai β_0 pada berbagai proporsi pencilan untuk n=100

Namun demikian, secara keseluruhan untuk pendugaan parameter β_0 , LTS memiliki nilai bias yang paling stabil dibandingkan dengan OLS dan LTS₁. Begitu pula halnya dengan KTG maupun KTG relatif, LTS memberikan hasil yang konsisten sampai dengan proporsi pencilan 20%.

4.1.2 Pendugaan Parameter β_1

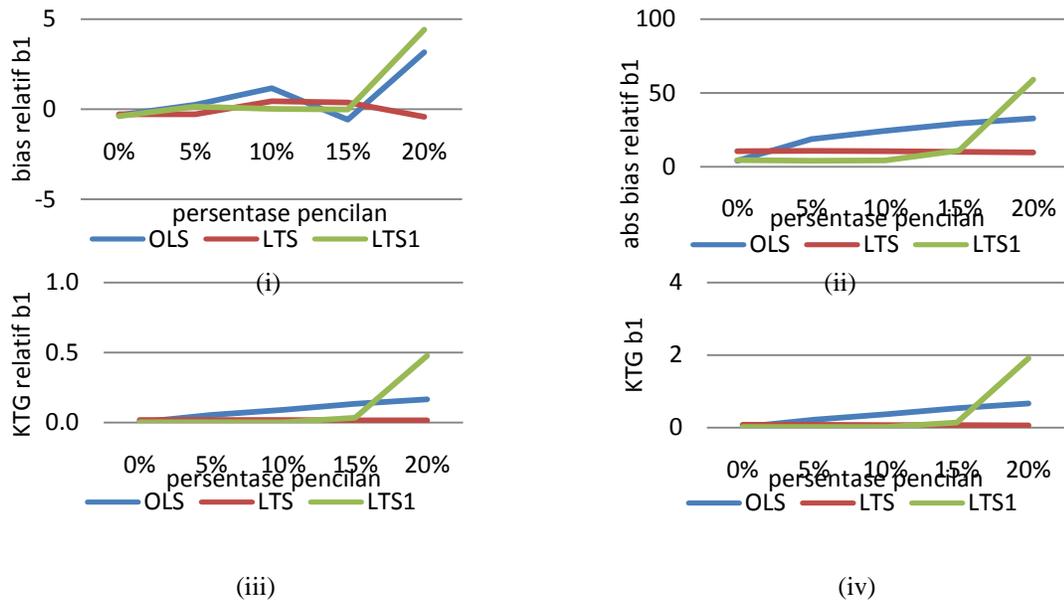
Pada pendugaan parameter β_1 dengan ukuran contoh 15 dan persentase pencilan 0% sampai 5% dihasilkan nilai bias relatif, bias relatif mutlak, KTG relatif, dan KTG dari masing-masing persentase pencilan relatif sama untuk LTS dan LTS₁. Namun, jika persentase pencilan lebih dari 5% maka nilai evaluasi tersebut menunjukkan perbedaan dimana nilai terendah ditunjukkan oleh metode LTS.

Tabel 2 Bias relatif β_1

n	p	BIAS RELATIF (%)		
		OLS	LTS	LTS1
15	0	0.00	0.01	0.00
	5	-0.12	-0.02	0.00
	10	-0.23	0.00	-0.15
	15	-0.23	-0.01	-0.13
	20	-0.24	0.00	-0.26
30	0	0.00	-0.01	0.00
	5	-0.01	0.00	0.00
	10	-0.03	-0.01	-0.01
	15	-0.03	-0.01	-0.04
	20	-0.08	0.00	-0.10
100	0	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
	10	0.01	0.00	0.00
	15	-0.01	0.00	0.00
	20	0.03	0.00	0.04
200	0	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.00	0.00
	15	0.00	0.00	0.00
	20	0.00	0.00	0.00

Berbeda dengan jumlah pengamatan 15, pada ukuran contoh 30 nilai bias relatif dan bias relatif mutlak untuk persentase pencilan 0% sampai 10% LTS₁ memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan LTS dan OLS. Hal ini menunjukkan bahwa pada kombinasi ukuran contoh dan persentase pencilan tersebut metode LTS₁ merupakan metode terbaik. Hal

tersebut terlihat pada grafik Lampiran 5, namun pada persentase pencilan lebih besar dari 15% nilai bias LTS_1 naik di atas nilai LTS sehingga LTS merupakan metode yang terbaik.



Gambar 2 Karakteristik pendugaan nilai β_1 pada berbagai proporsi pencilan untuk $n=100$

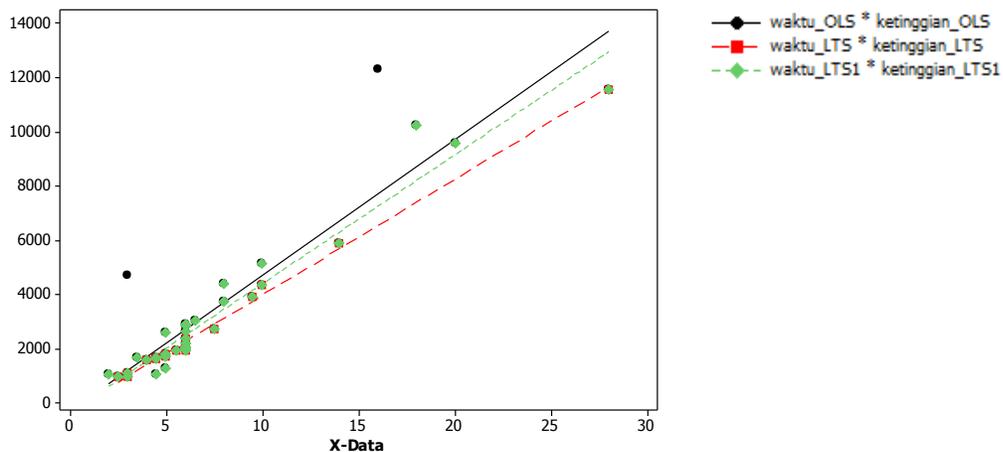
Pada grafik ukuran contoh 100 pada nilai bias relatif mutlak, KTG relatif, dan KTG metode LTS_1 cenderung berada dibawah LTS pada persentase pencilan 0% sampai 10%. Namun, pada persentase pencilan lebih dari 10% metode LTS_1 cenderung naik dan berada di atas LTS. Sedangkan metode LTS lebih konsisten pada nilai yang mendekati nol, artinya nilai biasanya kecil atau nilai dugaannya mendekati nilai parameternya, sehingga pada kombinasi ukuran contoh dan pencilan tersebut metode LTS merupakan metode yang terbaik. Pada Lampiran 5 menunjukkan bahwa nilai bias relatif LTS cenderung memiliki nilai lebih besar dari LTS_1 untuk ukuran data 200. Namun, untuk bias relatif mutlak, KTG relatif, dan KTG konstan hampir sama dengan LTS_1 .

Apabila dilihat secara keseluruhan untuk penduga parameter β_1 , LTS memiliki nilai bias yang relatif stabil dibandingkan dengan LTS_1 , sehingga metode LTS lebih kekar terhadap pencilan. Pada pendugaan parameter β_1 untuk ukuran contoh yang relatif rendah (15) cenderung memiliki pola yang tidak stabil, artinya LTS merupakan pendugaan parameter regresi yang baik pada ukuran data yang relatif besar.

Sesuai dengan teori LTS, pada pendugaan parameter β_0 dan β_1 untuk perubahan persentase pencilan terutama pada ukuran contoh lebih besar dari 30 bias akan menghasilkan pola yang relatif sama. Semakin besar persentase pencilan, apabila menggunakan metode OLS maka bias yang dihasilkan akan semakin besar. Pada ukuran contoh 200 dan persentase pencilan lebih besar dari 5% maka bias relatif mutlak dari β_0 dan β_1 yang dihasilkan masing-masing lebih besar dari 10%. Apabila ukuran contoh kurang dari 200 maka nilai bias relatif mutlak akan semakin besar.

4.2 Penerapan pada Data Riil

Data yang digunakan dalam contoh penerapan data riil ini adalah waktu yang dibutuhkan dalam pendakian (y) dengan ketinggian dari suatu bukit (x) pada 35 bukit dan pencilan sebesar delapan persen. Peubah pendukung yang digunakan ini diasumsikan mempunyai hubungan. Tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan eksplorasi antara peubah bebas dan peubah responnya.



Gambar 3 Diagram pencar antara ketinggian bukit dengan waktu yang diperlukan untuk pendakian.

Pada eksplorasi data menggunakan diagram pencar dapat dilihat bahwa garis OLS dan LTS_1 berada di sebelah kiri LTS. Hal ini dikarenakan keberadaan pencilan pada OLS dan LTS_1 yang berada di sebelah kiri menarik garis OLS dan LTS_1 tersebut ke kiri. LTS berbeda dengan OLS dan LTS_1 , garisnya cenderung berada di sebelah kanan karena tidak terpengaruh

adanya pencilan-pencilan yang ada di sebelah kiri. Eksplorasi tersebut dapat menggambarkan kekekaran metode LTS dibandingkan OLS dan LTS₁.

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai koefisien regresi yang didapatkan dari 3 metode (OLS, LTS, dan LTS₁) nilainya menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu besar. Apabila dilihat dari nilai simpangan baku untuk penduga β_0 , β_1 , JKG, KTG, dan nilai $R^2(\text{adj})$ menunjukkan perbedaan yang besar. LTS memiliki nilai simpangan baku untuk penduga β_0 , β_1 , JKG, dan KTG yang lebih kecil dibandingkan dengan OLS dan LTS₁. Disisi lain LTS juga memiliki nilai $R^2(\text{adj})$ yang paling mendekati satu, hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan model dengan metode LTS akan dapat menerangkan keragaman data sebesar 99.4%. Berdasarkan kelima kriteria nilai tersebut metode LTS merupakan metode yang baik digunakan jika data tersebut mengandung pencilan.

Tabel 3 Data evaluasi pendugaan β_0 dan β_1 .

kriteria	OLS	LTS*	LTS1*
b0	-290.40	-300.13	-348.70
b1	499.83	427.23	474.64
Sb0	345.38	68.81	181.30
Sb1	37.17	7.57	19.83
JKG	4.7×10^7	5.7×10^5	1.1×10^7
KTG	1.4×10^6	3.4×10^4	3.7×10^4
$R^2(\text{adj})$	84.1%	99.4%	94.8%

*Dihitung berdasarkan pada data yang digunakan untuk penentuan β_0 dan β_1 .

Berdasarkan data kriteria pendugaan β_0 dan β_1 aplikasi yang didapatkan sejalan dengan hasil simulasi yang telah dilakukan. LTS merupakan metode yang lebih kekar dalam menduga kasus regresi untuk data yang mengandung pencilan.

5 KESIMPULAN

Metode LTS lebih baik dibandingkan metode OLS dan LTS₁ dalam menduga parameter regresi pada data yang mengandung pencilan. Kajian simulasi menunjukkan bahwa nilai bias relatif, bias relatif mutlak, KTG relatif, dan KTG metode LTS menghasilkan nilai yang lebih konstan untuk kombinasi pencilan dan ukuran contoh yang besar. Pada aplikasi data yang

digunakan juga menunjukkan hasil yang sama dengan simulasi. Namun, metode ini masih memiliki kelemahan jika digunakan untuk ukuran data yang kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aunuddin. 1989. *Statistika: Rancangan dan Analisis Data*. Bogor: IPB Press.
- [2] Ryan T. 1997. *Modern Regression Methods*. New York : A Wiley-Interscience Publication.
- [3] Draper NR, Smith H. 1992. *Analisis Regresi Terapan Edisi ke 2*. Sumantri B, penerjemah. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama: Terjemahan dari : *Applied Regression Analysis*.
- [4] Rousseeuw PJ, Leroy AM. 1987. *Robust Regression and Outlier Detection*. Belgium : John Wiley & Sons.
- [5] Rousseeuw PJ, Van Driessen. 1999. A fast algorithm for the minimum covariance determinant estimator. *Technometrics* 41: 212–223.

MODEL SPASIAL PERCOBAAN PEMUPUKAN PADI SAWAH

Mohammad Masjkur

Departemen Statistika FMIPA-IPB, Bogor

m_masjkur@yahoo.com

ABSTRAK

Rancangan yang digunakan pada percobaan pemupukan padi sawah biasanya rancangan acak kelompok. Namun demikian, banyak penelitian mendapatkan masih adanya korelasi spasial dari perlakuan di dalam kelompok, walaupun telah dilakukan pengacakan. Oleh karenanya disarankan perlunya pemeriksaan nyata beberapa struktur korelasi spasial (*data-driven approach*) selain model dasar rancangan acak kelompok (*model-driven approach*) untuk mendapatkan informasi pengaruh perlakuan yang lebih baik. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui efisiensi model spasial lokal dan global terhadap model dasar rancangan acak kelompok pada percobaan pemupukan padi sawah. Penelitian menggunakan data percobaan pemupukan padi sawah pada daerah Karawang dan Kebumen. Di daerah Karawang perlakuan pemupukan terdiri dari 14 macam pemupukan, sedangkan di Kebumen terdiri dari 12 macam pemupukan dengan tiga ulangan. Di daerah Kebumen dilaksanakan selama dua musim tanam. Rancangan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model spasial terbaik pada semua lokasi adalah model power semivariogram. Namun demikian, model spasial terbaik tidak selalu trend spasial global dan pada lokasi tertentu trend spasial lokal lebih baik dari trend spasial global. Pada lokasi Karawang tambahan peragam spasial power dapat meningkatkan efisiensi sebesar 38.30 persen, sedangkan pada lokasi Kebumen1 dan Kebumen2 masing-masing sebesar 20.25 dan 14.30 persen dibandingkan model rancangan acak kelompok. Tambahan peragam spasial power meningkatkan peluang nyata pengaruh perlakuan.

Katakunci : rancangan acak kelompok, semivariogram, power, lokal, global

1 PENDAHULUAN

Percobaan pemupukan padi sawah lazim dilakukan di lapangan dan kadangkala multilokasi. Tujuannya antara lain mencari dosis optimum pemupukan atau pengelolaan hara yang efisien. Rancangan yang digunakan biasanya rancangan acak kelompok. Kondisi lapangan seperti kesuburan tanah atau tingkat kelembaban yang relatif homogen dijadikan sebagai kelompok. Selanjutnya perlakuan pemupukan ditempatkan secara acak pada masing-masing kelompok.

Pengacakan penempatan perlakuan sebetulnya merupakan upaya untuk memenuhi asumsi kebebasan galat dari model rancangan dan mengatasi korelasi spasial dari perlakuan.

Namun demikian, banyak penelitian mendapatkan masih adanya korelasi spasial dari perlakuan di dalam kelompok, walaupun telah dilakukan pengacakan. Oleh karenanya disarankan perlunya pemeriksaan nyata beberapa struktur korelasi spasial (*data-driven approach*) selain model dasar rancangan acak kelompok (*model-driven approach*) untuk mendapatkan informasi pengaruh perlakuan yang lebih baik.

Beberapa model spasial potensial digunakan untuk meningkatkan ketelitian percobaan. Müller et al. [1] pada percobaan tanaman *sugar beet* dan *barley* mendapatkan model ragam linear (*linear variance*) dan *first order autoregressive (ARI)* sebagai kandidat model spasial. Model spasial lainnya yang banyak digunakan adalah model eksponensial, *gaussian*, *spherical* dan *power* ([2]-[5]).

Gilmour et al. [6] membagi keragaman spasial antar plot pada percobaan lokasi tunggal kedalam keragaman spasial lokal, global dan ekstra. Keragaman spasial lokal merupakan perbedaan antar plot pada skala kecil (plot dalam blok), dan keragaman global menunjukkan kecenderungan spasial pada skala besar (keseluruhan plot percobaan). Keragaman ekstra berhubungan dengan pengelolaan percobaan seperti cara pemanenan.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui efisiensi model spasial lokal dan global terhadap model dasar rancangan acak kelompok pada percobaan pemupukan padi sawah.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Model Linear Campuran

Pemodelan struktur spasial dari plot dapat dilakukan dalam konteks model linear campuran. Model linear campuran dirumuskan sebagai berikut :

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}\mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (1)$$

dimana \mathbf{y} vektor N pengamatan, $\boldsymbol{\beta}$ vektor pengaruh tetap, \mathbf{u} vektor pengaruh acak, $\boldsymbol{\varepsilon}$ vektor sisaan, \mathbf{X} dan \mathbf{Z} adalah matriks rancangan. Pengaruh acak \mathbf{u} menyebar Normal dengan rata-rata 0 dan matriks ragam \mathbf{G} . Sebaran dari sisaan $\boldsymbol{\varepsilon}$ adalah normal dengan rata-rata 0 dan ragam \mathbf{R} .

Asumsi dasar dari model ini adalah bahwa \mathbf{u} dan $\boldsymbol{\varepsilon}$ tidak berkorelasi dan nilai harapannya adalah nol. Jika ragam dari pengaruh acak $\text{var}(\mathbf{u}) = \sum_u$ dan $\mathbf{V}_1 = \text{var}(\mathbf{Z}\mathbf{u}) = \mathbf{Z}\sum_u\mathbf{Z}'$ dan ragam dari galat $\mathbf{V}_2 = \text{var}(\boldsymbol{\varepsilon})$, maka ragam dari \mathbf{y} adalah $\text{var}(\mathbf{y}) = \mathbf{V}_1 + \mathbf{V}_2$.

Dengan demikian setiap korelasi dari pengamatan dapat dispesifikasikan dalam \mathbf{V}_2 dan/atau \mathbf{V}_1 ([2]; [7]).

2.2 Rancangan Acak Kelompok dengan Galat Bebas dan Identik (RAKGB)

Pada rancangan acak kelompok klasik, diasumsikan galat dalam blok menyebar bebas dan identik dimana $\mathbf{V}_1 = \mathbf{Z}\sum_u \mathbf{Z}'$ dan $\mathbf{V}_2 = \sigma^2 \mathbf{I}_n$ dimana \mathbf{I}_n menunjukkan nxn matriks identitas. Konsekuensinya setiap korelasi spasial pengamatan dicerminkan hanya pada \mathbf{V}_1 .

2.2 Rancangan Acak Kelompok dengan Galat Berkorelasi (RAK GK)

Model rancangan ini merupakan rancangan acak kelompok nonklasik dengan galat berkorelasi spasial dimana $\mathbf{V}_1 = \mathbf{Z}\sum_u \mathbf{Z}'$. Jika model tanpa nugget (*no-nugget*) digunakan untuk menggambarkan peragam spasial, $\mathbf{V}_2 = \sigma^2 \mathbf{W}$, dimana \mathbf{W} adalah n x n matriks peragam spasial dengan elemen ke-ij didefinisikan sebagai fungsi dari jarak (h_{ij}) antara lokasi i dan j. Jika model dengan nugget digunakan untuk menggambarkan peragam spasial, $\mathbf{V}_2 = \mathbf{I}_n \sigma_g^2 + \sigma^2 \mathbf{W}$. Nugget $\mathbf{I}_n \sigma_g^2$ adalah disebabkan keragaman nyata pengamatan pada jarak dekat/nol dan atau galat pengukuran (*measurement error*). Pada pendekatan ini, korelasi spasial pengamatan digambarkan pada \mathbf{V}_1 dan \mathbf{V}_2 . Model RAK dengan galat bebas merupakan model reduksi dari RAK dengan galat berkorelasi, karena jika tidak ada korelasi spasial, maka \mathbf{W} akan menjadi \mathbf{I}_n .

3 DATA DAN METODE

Penelitian ini menggunakan data percobaan pemupukan padi sawah pada daerah Karawang dan Kebumen. Di daerah Karawang perlakuan pemupukan terdiri dari 14 macam pemupukan, sedangkan di Kebumen terdiri dari 12 macam pemupukan dengan tiga ulangan. Di daerah Kebumen dilaksanakan selama dua musim tanam. Rancangan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok (RAK).

Data hasil setiap percobaan dianalisa dengan model spasial sebagai berikut,

$$Y_{ij} = \mu + \tau_{k(ij)} + T_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

dimana Y_{ij} adalah hasil padi (ku/ha) pada plot ke-j blok ke-i atau plot ij , suku $\mu + \tau_{k(ij)}$ menunjukkan rata-rata pengaruh pemupukan ke-k pada plot ij , T_{ij} menunjukkan pengaruh keragaman spasial pada plot tersebut, dan ε_{ij} adalah sisaan acak. Model dasar adalah analisis

ragam RAK. Dalam hal ini pengaruh spasial T_{ij} dianggap konstan pada semua plot pada blok yang sama, yaitu $T_{ij} = \beta_i$ (pengaruh blok ke-i).

Selain itu pada semua plot pada blok yang sama (*local within block*) dan pada semua plot percobaan (*global whole trial*) digunakan tambahan fungsi peragam spasial *first order autoregressive* AR1 dan model semivariogram isotropik linear dan power (tanpa *nugget*). Pendugaan model digunakan prosedur kemungkinan maksimum terkendala (*REML*) model linear campuran dengan asumsi pengaruh blok acak. Pemilihan model spasial terbaik menggunakan kriteria *Akaike's Information Criteria (AIC)*. Efisiensi relatif model spasial terhadap RAK digunakan kriteria, $ER = 1 - \text{SED}_{ms}/\text{SED}_{rak}$ dengan $\text{SED} = \text{akar kuadrat dari rata-rata kuadrat standard error}$ dari beda semua pasangan rata-rata perlakuan yang disesuaikan (*adjusted means*), ms = model spasial dan rak = rancangan acak kelompok ([1]; [8]).

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendekatan RAK

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada lokasi Karawang perlakuan pemupukan dan blok tidak berpengaruh nyata (nilai-P > 0.05). Pada lokasi Kebumen1 perlakuan pemupukan berpengaruh nyata (nilai-P < 0.05) dan pengaruh blok tidak nyata (nilai-P > 0.05). Adapun pada lokasi Kebumen2 yang merupakan percobaan lanjutan dari Kebumen1 perlakuan pemupukan juga berpengaruh nyata (nilai-P < 0.05) dan pengaruh blok juga tidak nyata (nilai-P > 0.05).

Tabel 1 Nilai-P pengaruh perlakuan dan blok pada RAKGB

Lokasi	RAKGB
Karawang	0.6728a 0.1947b
Kebumen1	0.0102a 0.1988b
Kebumen2	0.0006a 0.4689b

RAKGB = rancangan acak kelompok pengaruh acak REML
a=nilai-P pengaruh perlakuan b=nilai-P pengaruh blok

4.2 Pendekatan Spasial

4.2.1 Autoregressive AR1

Hasil analisis model AR1 lokal menunjukkan bahwa pada lokasi Karawang kovarians AR1 tidak nyata (nilai- $P > 0.05$), sedangkan perlakuan pemupukan dan blok tidak berpengaruh nyata (nilai- $P > 0.05$). Adapun model AR1 global menunjukkan pola yang sama dengan AR1 lokal. Pada lokasi Karawang tidak terjadi penurunan nilai- P pengaruh perlakuan dibandingkan dengan pada rancangan acak kelompok saja, baik pada AR1 lokal maupun global (Tabel 2). Perlakuan pemupukan tetap teridentifikasi tidak nyata ($P > 0.05$).

Pada lokasi Kebumen1 kovarians AR1 lokal tidak nyata (nilai- $P > 0.05$), sedangkan perlakuan pemupukan berpengaruh nyata (nilai- $P < 0.05$) dan pengaruh blok tidak nyata (nilai- $P > 0.05$). Adapun model AR1 global menunjukkan pola yang sama dengan AR1 lokal. Pada lokasi Kebumen1 terjadi penurunan nilai- P pengaruh perlakuan dibandingkan dengan pada rancangan acak kelompok, baik pada AR1 lokal maupun global (Tabel 2). Hal ini berarti bahwa model ini lebih sensitif mendeteksi pengaruh perlakuan dibandingkan dengan RAK saja.

Pada lokasi Kebumen2 kovarians AR1 lokal nyata (nilai- $P < 0.05$), sedangkan perlakuan pemupukan berpengaruh nyata (nilai- $P < 0.05$) dan pengaruh blok tidak teridentifikasi. Adapun model AR1 global menunjukkan pola yang sama dengan AR1 lokal. Korelasi antar plot di dalam blok dan seluruh percobaan teridentifikasi nyata ($P < 0.05$) masing-masing sebesar 0.44 dan 0.46 pada AR(1) lokal dan global. Pada lokasi Kebumen2 tidak terjadi penurunan nilai- P pengaruh perlakuan dibandingkan dengan pada rancangan acak kelompok saja. Perlakuan pemupukan tetap teridentifikasi nyata ($P < 0.05$).

Tabel 2 Nilai- P pengaruh perlakuan dan kovarians AR1 pada rancangan acak kelompok

Lokasi	RAK		AR1(a)		AR1(A)		
	P	P	dugaan	P1	P	dugaan	P1
Karawang	0.6728a	0.7288a	0.1958	0.3553	0.6905a	0.1728	0.4256
	0.1947b	0.2134b			0.2097b		
Kebumen1	0.0102a	0.0081a	-0.0729	0.7327	0.0089a	-0.0858	0.6887
	0.1988b	0.1935b			0.1924b		
Kebumen2	0.0006a	0.0015a	0.4435	0.0093	0.0005a	0.4609	0.0086
	0.4689b	- b			- b		

AR(1)a = rancangan acak kelompok pengaruh acak + AR1 lokal

AR(1)A = rancangan acak kelompok pengaruh acak + AR1 global

P=nilai- P pengaruh perlakuan, P1=nilai- P kovarians

4.3 Pendekatan semivariogram

4.3.1 Model linear

Penyuaian model linear semivariogram lokal pada model RAK menunjukkan bahwa pada lokasi Karawang parameter model linear semivariogram nyata (nilai-P <0.05) yang berarti terjadi korelasi spasial di dalam blok percobaan (Tabel 3). Pengaruh pemupukan tidak nyata (nilai-P > 0.05) dan pengaruh blok tidak teridentifikasi. Adapun penyuaian model linear semivariogram global tidak dapat diterapkan (tidak konvergen). Pada penyuaian model linear semivariogram lokal terjadi penurunan nilai-P pengaruh perlakuan dibandingkan dengan pada rancangan acak kelompok saja, namun pengaruh perlakuan tetap tidak nyata (nilai-P > 0.05) (Tabel 3).

Pada lokasi Kebumen1 model linear semivariogram lokal dan global tidak dapat diterapkan. Adapun pada lokasi Kebumen2 model linear semivariogram lokal tidak dapat diterapkan, sedangkan model linear semivariogram global menunjukkan bahwa pada lokasi Kebumen2 parameter model linear semivariogram nyata (nilai-P <0.05) yang berarti terjadi korelasi spasial di dalam plot percobaan (Tabel 3). Pengaruh pemupukan nyata (nilai-P < 0.05) dan pengaruh blok tidak teridentifikasi. Nilai-P pengaruh perlakuan menurun dibandingkan dengan pada rancangan acak kelompok saja.

Tabel 3 Nilai-P pengaruh perlakuan dan kovarians spasial linear pada rancangan acak kelompok

Lokasi	RAKA		LIN(I)		LIN(L)		
	P	P	dugaan	P1	P	dugaan	P1
Karawang	0.6728a 0.1947b	0.1758a b	0.1002	<0.0001	- -	- -	- -
Kebumen1	0.0102a 0.1988b	0.0102a 0.1988b	1.1905	-	- -	- -	- -
Kebumen2	0.0006a 0.4689b	0.0006a 0.4689b	1.1174	-	0.0004a -	0.0821	0.0003

LIN(I) = rancangan acak kelompok pengaruh acak + LIN lokal

LIN(L) = rancangan acak kelompok pengaruh acak + LIN global

P=nilai-P pengaruh perlakuan, P1=nilai-P kovarians

4.3.2 Model power

Penyuaian model power semivariogram lokal pada model RAK menunjukkan bahwa pada lokasi Karawang parameter model power semivariogram nyata (nilai-P <0.05) yang

berarti terjadi korelasi spasial di dalam blok percobaan (Tabel 4). Pengaruh pemupukan dan blok tidak nyata ($\text{nilai-P} > 0.05$). Adapun penyuain model power semivariogram global menunjukkan bahwa pada lokasi Karawang parameter model power semivariogram nyata ($\text{nilai-P} < 0.05$) yang berarti terjadi korelasi spasial di dalam plot percobaan (Tabel 4). Pengaruh pemupukan dan blok tidak nyata ($\text{nilai-P} > 0.05$). Pada lokasi Karawang penyuain model power semivariogram lokal dan global terjadi penurunan nilai-P pengaruh perlakuan dibandingkan dengan pada rancangan acak kelompok saja, namun pengaruh perlakuan tetap tidak nyata ($\text{nilai-P} > 0.05$) (Tabel 4). Penurunan nilai-P pemupukan lebih tinggi pada model global daripada model lokal.

Pada lokasi Kebumen1 penyuain model power semivariogram lokal pada model RAK menunjukkan bahwa parameter model power semivariogram nyata ($\text{nilai-P} < 0.05$) yang berarti terjadi korelasi spasial di dalam blok percobaan (Tabel 4). Perlakuan pemupukan berpengaruh nyata ($\text{nilai-P} < 0.05$) dan pengaruh blok tidak nyata ($\text{nilai-P} > 0.05$). Adapun penyuain model power semivariogram global menunjukkan bahwa parameter model power semivariogram nyata ($\text{nilai-P} < 0.05$) yang berarti terjadi korelasi spasial di dalam plot percobaan (Tabel 4). Perlakuan pemupukan berpengaruh nyata ($\text{nilai-P} < 0.05$) dan pengaruh blok tidak nyata ($\text{nilai-P} > 0.05$). Pada lokasi Kebumen1 penyuain model power semivariogram lokal dan global terjadi penurunan nilai-P pengaruh perlakuan dibandingkan dengan pada rancangan acak kelompok saja (Tabel 4). Penurunan nilai-P pemupukan lebih tinggi pada model lokal daripada model global.

Pada lokasi Kebumen2 penyuain model power semivariogram lokal pada model RAK menunjukkan bahwa parameter model power semivariogram nyata ($\text{nilai-P} < 0.05$) yang berarti terjadi korelasi spasial di dalam blok percobaan (Tabel 4). Perlakuan pemupukan berpengaruh nyata ($\text{nilai-P} < 0.05$) dan pengaruh blok tidak nyata ($\text{nilai-P} > 0.05$). Adapun penyuain model power semivariogram global menunjukkan bahwa parameter model power semivariogram nyata ($\text{nilai-P} < 0.05$) yang berarti terjadi korelasi spasial di dalam plot percobaan (Tabel 4). Perlakuan pemupukan berpengaruh nyata ($\text{nilai-P} < 0.05$) dan pengaruh blok tidak nyata ($\text{nilai-P} > 0.05$). Pada lokasi Kebumen2 penyuain model power semivariogram lokal dan global terjadi penurunan nilai-P pengaruh perlakuan dibandingkan dengan pada rancangan acak kelompok saja (Tabel 4). Penurunan nilai-P pemupukan lebih tinggi pada model lokal daripada model global.

Tabel 4 Nilai-P pengaruh perlakuan dan kovarians spasial power pada rancangan acak kelompok

Lokasi	RAKA		POW(p)		POW(P)		
	P	P	dugaan	P1	P	dugaan	P1
Karawang	0.6728a 0.1947b	0.4077a 0.3171b	0.5629	0.0031	0.1022a 0.1916b	0.6602	0.0012
Kebumen1	0.0102a 0.1988b	<0.0001a 0.1599b	-0.3786	<0.0001	0.0010a 0.1647b	-0.3146	0.0029
Kebumen2	0.0006a 0.4689b	<0.0001a 0.1903b	-0.3641	0.0002	0.0004a 0.3384b	-0.1333	0.4738

POWT = rancangan acak kelompok pengaruh tetap + POW

POWA = rancangan acak kelompok pengaruh acak + POW

P=nilai-P pengaruh perlakuan, P1=nilai-P kovarians

4.4 Pemilihan Model Terbaik

Berdasarkan nilai AIC dan tingkat nyata pengaruh peragam spasial model terbaik pada lokasi Karawang adalah model rancangan kelompok dengan tambahan pengaruh spasial model power global. Hal ini ditunjukkan oleh nilai AIC terkecil dari model lainnya. Pada lokasi Kebumen1 dan Kebumen2 model terbaik adalah model rancangan kelompok dengan tambahan pengaruh spasial model power lokal (Tabel 5). Pada lokasi Karawang tambahan peragam spasial power dapat meningkatkan efisiensi sebesar 38.30 persen, sedangkan pada lokasi Kebumen1 dan Kebumen2 masing-masing sebesar 20.25 dan 14.30 persen dibandingkan model rancangan acak kelompok (Tabel 6).

Tabel 5 Nilai AIC model spasial

	RAK	AR1(a)	LIN(l)	POW(p)	AR1(A)	LIN(L)	POW(P)
Karawang	150.2	151.4	149.3	145.1	151.6	na	134.9
Kebumen1	798.9	800.8	800.9	796.7	800.8	na	798.6
Kebumen2	963.7	958.0	965.7	962.8	957.8	976.1	965.4

Tabel 6. Efisiensi model spasial terhadap RAKGB

Lokasi	AR1(a)	LIN(l)	POW(p)	AR1(A)	LIN(L)	POW(P)
Karawang	19.40	28.30	19.65	0.26	0.00	38.30
Kebumen1	0.04	0.00	20.25	0.00	0.00	12.59
Kebumen2	8.20	0.00	14.30	9.08	-0.56	1.50

5 KESIMPULAN

Model spasial terbaik pada semua lokasi adalah model power semivariogram. Namun demikian, model spasial terbaik tidak selalu trend spasial global dan pada lokasi tertentu trend spasial lokal lebih baik dari trend spasial global. Tambahan peragam spasial power lebih efisien dibandingkan model rancangan acak kelompok. Tambahan peragam spasial power meningkatkan peluang nyata pengaruh perlakuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bettina U. Müller, Kathrin Kleinknecht, Jens Möhring, and Hans-Peter Piepho. 2010. Comparison of Spatial Models for Sugar Beet and Barley Trials. *Crop Sci.* 50:794–802.
- [2] Hong, N., J. G. White, M. L. Gumpertz, R. Weisz. 2005. Spatial Analysis of Precision Agriculture Treatments in Randomized Complete Blocks: Guidelines for Covariance Model Selection. *Agron. J.* 97:1082–1096.
- [3] Casanoves, F., R. Macchiavelli, and M. Balzarini. 2005. Error Variation in Multienvironment Peanut Trials: Within-Trial Spatial Correlation and Between-Trial Heterogeneity. *Crop Sci.* 45:1927–1933.
- [4] Heike Knörzer, Bettina U. Müller, Buqing Guo, Simone Graeff-Hönninger, Hans-Peter Piepho, Pu Wang, and Wilhelm Claupein. 2010. Extension and Evaluation of Intercropping Field Trials Using Spatial Models. *Agron. J.* 102:1023–1031.
- [5] Christel Richter and Bärbel Kroschewski. 2012. Geostatistical Models in Agricultural Field Experiments: Investigations Based on Uniformity Trials. *Agron. J.* 104:91–105.
- [6] Gilmour, A.R., R. Thompson, B.R. Cullis, and A.P. Verbyla. 1997. Accounting for natural and extraneous variation in the analysis of field experiments. *J. Agric. Biol. Environ. Statist.* 2:269–273.
- [7] Searle, S. R. 1987. *Linear Models for Unbalanced Data*. John Wiley and Sons, Inc. New York,.
- [8] Rong-Cai Yang, Terrance Z. Ye, Stanford F. Blade, and Manjula Bandara. 2004. Efficiency of Spatial Analyses of Field Pea Variety Trials. *Crop Sci.* 44:49–55.

PEMODELAN TINGKAT PRODUK DOMESTIK REGIONAL BRUTO KABUPATEN/KOTA JAWA BARAT DENGAN SPASIAL DATA PANEL

Nur Hikmah, Yenni Angraini, Asep Saefuddin

Departemen Statistika Institut Pertanian Bogor, Bogor

E-mail: zahrotussyita4@yahoo.co.id

ABSTRAK

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk melihat dampak adanya program pembangunan daerah yaitu dengan mengamati seberapa besar laju pertumbuhan ekonomi yang dicapai pada daerah tersebut yang tergambarkan oleh tingkat Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). Provinsi Jawa Barat merupakan provinsi dengan jumlah penduduk terbanyak di Indonesia. Dalam pencapaian tingkat PDRB sepuluh Jawa, provinsi ini menempati urutan ketiga setelah DKI Jakarta dan Jawa Timur. Pengamatan dari pergerakan tingkat ekonomi tidak hanya dilakukan dalam sekali amatan saja, namun perlu dilakukan dalam beberapa periode pengamatan agar dapat dilihat dinamika perekonomian tersebut. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis data yang pengamatannya tidak hanya pada satu individu saja di satu wilayah dan dilakukan dalam beberapa periode waktu amatan. Pengkombinasian antara data lintas individu dan data deret waktu dinamakan dengan data panel. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membentuk persamaan regresi spasial data panel dengan faktor-faktor yang memengaruhi tingkat PDRB di Provinsi Jawa Barat. Karena pemodelan data panel ini melibatkan unsur spasial (lokasi) di dalamnya sehingga digunakan analisis spasial data panel. Hasil analisis didapatkan peubah yang berpengaruh terhadap respon yaitu peubah PAD, Jumlah Penduduk dan IPM. Sedangkan model terbaik berdasarkan kriteria nilai AIC dan BIC terkecil dalam pemodelan tingkat PDRB di Provinsi Jawa Barat adalah model data panel dengan pengaruh tetap dengan kebergantungan spasial pada lag.

Katakunci: Data panel, spasial data panel, matriks pembobot spasial.

1 PENDAHULUAN

Pengamatan pergerakan ekonomi pada suatu daerah tidak dapat hanya dilihat dalam satu periode waktu. Diperlukan amatan secara berkala agar dinamika dari perekonomian daerah dapat tergambarkan. Perbedaan atau adanya disparitas laju ekonomi antar daerah dipengaruhi oleh kualitas dan potensi sumber daya baik alam maupun manusia. Pertumbuhan ekonomi yang tinggi dan proses berkelanjutan merupakan kondisi utama bagi kelangsungan pembangunan ekonomi daerah. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk melihat dampak adanya program pembangunan daerah yaitu dengan mengamati seberapa besar laju

pertumbuhan ekonomi yang dicapai pada daerah tersebut yang tergambarkan oleh tingkat Produk Domestik Regional Bruto (PDRB).

Provinsi Jawa Barat merupakan provinsi dengan jumlah penduduk terbanyak di Indonesia. Dalam pencapaian tingkat PDRB se-Jawa, provinsi ini menempati urutan ketiga setelah DKI Jakarta dan Jawa Timur. Pada rentang waktu 2005-2009 pergerakan PDRB terus mengalami kenaikan. Beberapa sektor yang menjadi potensi terdiri atas sektor industri, pertanian, pertambangan, perdagangan dan jasa. Meski Jawa Barat berada pada posisi ketiga, masih terdapat ketimpangan pada tingkat pertumbuhan ekonomi di dalam Kabupaten/Kota di Jawa Barat itu sendiri.

Penggunaan data PDRB di kabupaten/kota pada Provinsi Jawa Barat dalam penelitian ini diamati sejak periode 2005 hingga 2009. Unit lintas individu yang diamati sebanyak 25 kabupaten/kota. Karena data yang digunakan dalam penelitian ini diamati dalam beberapa periode amatan pada individu yang sama, maka digunakan analisis data panel. Selain itu diduga pergerakan ekonomi yang dilihat dari tingkat PDRB memiliki pengaruh spasial antar lokasi, dimana satu lokasi memengaruhi lokasi yang menjadi tetangganya. Oleh karena itu digunakan analisis spasial data panel pada penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan membentuk persamaan regresi spasial data panel dengan faktor-faktor yang memengaruhi tingkat PDRB di Provinsi Jawa Barat.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Jawa Barat, serta Jawa Barat dalam Angka yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS). Unit amatan yang diteliti pada penelitian ini selama periode 2005-2009 pada 25 kabupaten/kota di Jawa Barat. Pemilihan kabupaten/kota tidak mencakup keseluruhan dari kabupaten/kota yang terdapat di Jawa Barat. Seperti wilayah Bandung Barat yang tidak diikutsertakan dalam analisis. Wilayah ini merupakan wilayah hasil pemekaran, karena terbentur masalah ketersediaan data maka wilayah ini tidak dimasukkan dalam penelitian. Sebagai peubah respon PDRB, sedangkan untuk peubah penjelas terdiri dari empat buah yaitu Pendapatan Asli Daerah (PAD), total belanja daerah (TBD), jumlah penduduk (JP) dan Indeks Pembangunan Manusia (IPM).

2.2 Metode

Berikut merupakan langkah yang digunakan dalam melakukan analisis :

1. Melakukan eksplorasi data
2. Melakukan analisis regresi data panel

Data panel merupakan pengkombinasian dari data deret waktu dan lintas individu. Bentuk persamaan umum dari analisis regresi data panel adalah sebagai berikut:

$$y_{it} = \alpha + \mathbf{x}'_{it}\boldsymbol{\beta} + u_{it} \quad (1)$$

$$u_{it} = \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, N$ dan $t = 1, 2, \dots, T$

dimana i merupakan unit lintas individu dan t merupakan periode waktu. y_{it} merupakan respon individu ke- i pada periode ke t . α merupakan konstanta, $\boldsymbol{\beta}$ adalah vektor berukuran $K \times 1$, dengan K menyatakan banyaknya peubah penjelas. \mathbf{x}_{it} merupakan vektor berukuran $K \times 1$ dari unit lintas individu pada amatan ke- i dan periode ke- t . u_{it} adalah galat, μ_i adalah pengaruh individu yang tidak terobservasi dan ε_{it} adalah sisaan lintas individu pada amatan ke- i periode ke- t [1].

2.1 Melakukan pendugaan dengan model gabungan

Model gabungan merupakan salah satu model yang mengasumsikan koefisien regresi (konstanta ataupun kemiringan) yang sama antar unit analisis dan waktu. Untuk pendugaan parameter menggunakan Metode Kuadrat Terkecil (MKT).

2.2 Melakukan pendugaan dengan pengaruh tetap

Model pengaruh tetap ini sesuai jika digunakan dalam mengamati sejumlah N individu dan kesimpulan akhir dibatasi hanya pada perilaku dari set N data yang diamati. Menurut Baltagi (2005) untuk fungsi regresi dari model tetap ini adalah

$$y_{it} = \alpha + \mathbf{x}'_{it}\boldsymbol{\beta} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Kemudian persamaan (3) jika dirata-ratakan sepanjang waktu menjadi

$$\bar{y}_i = \alpha + \bar{\mathbf{x}}'_i\boldsymbol{\beta} + \mu_i + \bar{\varepsilon}_i \quad (4)$$

Kemudian, mengurangi persamaan (3) dengan persamaan (4) sehingga didapatkan

$$y_{it} - \bar{y}_i = (\mathbf{x}'_{it} - \bar{\mathbf{x}}'_i)\boldsymbol{\beta} + (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i) \quad (5)$$

Misal $y_{it}^* = y_{it} - \bar{y}_i$, $\mathbf{x}_{it}^* = \mathbf{x}'_{it} - \bar{\mathbf{x}}'_i$ dan $\varepsilon_{it}^* = \varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i$. maka persamaan (5) menjadi $y_{it}^* = \mathbf{x}_{it}^*\boldsymbol{\beta} + \varepsilon_{it}^*$. Model tersebut diduga dengan menggunakan pendekatan MKT. Selain *within*, model pengaruh tetap juga dapat diduga dengan memasukkan

peubah boneka ke dalam model atau biasa dikenal dengan *least square dummy variable* (LSDV). Model tetap biasa dikenal dengan model LSDV karena nilai pengamatan pada koefisien peubah μ_i berupa peubah boneka (*dummy*) yang mengizinkan terjadinya perbedaan nilai parameter yang berbeda-beda baik pada unit lintas individu maupun deret waktu [1].

2.3 Melakukan uji Chow untuk memilih model data panel yang sesuai antara model gabungan atau model tetap.

- a. Jika terima H_0 maka model gabungan yang digunakan. (pendugaan sampai disini)
- b. Jika tolak H_0 maka model pengaruh tetap yang dipilih dan lanjutkan ke langkah 2.4

2.4 Melakukan pendugaan dengan model pengaruh acak

Model pengaruh acak merupakan spesifikasi model yang sesuai jika kita mengambil N individu secara acak dari populasi yang besar [1]. Pendugaan parameter dengan menggunakan MKT akan menghasilkan penduga yang bias dan tidak efisien, sehingga penggunaan metode *Generalized Least Square* dilakukan dalam pendugaan pada model ini. Persamaan untuk model pengaruh acak adalah sebagai berikut:

$$y_{it} = \beta_{1i} + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + u_{it} \quad (6)$$

$$\beta_{1i} = \beta_1 + \varepsilon_i \quad (7)$$

Asumsi dari ε_i adalah menyebar normal bebas, stokastik identik $(0, \sigma^2)$ [2].

2.5 Melakukan Uji Hausman untuk memilih antara model tetap atau model acak

- a. Jika terima H_0 maka model acak yang digunakan (pendugaan sampai disini)
- b. Jika tolak H_0 maka model pengaruh tetap yang dipilih

3. Melakukan analisis spasial data panel

3.1 Menentukan matriks pembobot spasial (W).

Matriks pembobot spasial merupakan matriks yang menggambarkan kekuatan antar lokasi dan merupakan matriks *contiguity* yang telah mengalami standarisasi. Pembobotan dilakukan dengan membentuk matriks C dimana c_{ij} merupakan elemen pada baris ke- i dan kolom ke- j . c_{ij} akan bernilai 1 pada daerah yang bertetangga dan 0 selainnya. Selanjutnya untuk melihat besarnya pembobotan, dilakukan standarisasi dari matriks C sehingga terbentuk matriks pembobot spasial (W_{ij}). Pola umum yang

digunakan adalah standarisasi terhadap baris. Beberapa penentuan matriks pembobot diantaranya *Linear Contiguity*, *Rook Contiguity*, *Bhisop Contiguity*, *Queen Contiguity*, *Double Linear Contiguity*, *Linear Contiguity*, dan *Double Rook Contiguity* [4].

3.2 Melihat kebergantungan spasial menggunakan Indeks Moran.

Indeks moran merupakan statistik uji yang digunakan untuk melakukan pegujian terhadap autokorelasi spasial. Statistik ini adalah ukuran korelasi antara pengamatan yang saling berdekatan dengan membandingkan nilai di suatu daerah dengan nilai pengamatan di daerah lainnya. *Moran's Scatterplot* diperkenalkan oleh Anselin pada tahun 1996 sebagai alat eksplorasi dari analisis data spasial untuk melihat hubungan spasial. Sumbu x merupakan nilai amatan lokal yang sudah distandarisasi dan sumbu y merupakan nilai rata-rata amatan yang telah terboboti berdasarkan unit tetangga dari matriks W [5]. Menguji pengaruh interaksi spasial dengan menggunakan uji Lagrange Multiplier.

3.3 Melakukan pendugaan parameter model spasial data panel.

Persamaan untuk model spasial lag panel adalah sebagai berikut

$$y_{it} = \lambda \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt} + \mathbf{x}'_{it} \boldsymbol{\beta} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

dimana λ adalah koefisien spasial autoregressive, w_{ij} merupakan elemen dari matriks W , dimana W merupakan matriks pembobot spasial dengan elemen-elemen diagonalnya sama dengan nol yang telah dinormalisasi [3].

Persamaan untuk model spasial lag panel adalah sebagai berikut:

$$y_{it} = \mathbf{x}_{it} \boldsymbol{\beta} + \mu_i + \phi_{it} ; \quad (9)$$

$$\phi_{it} = \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} \phi_{jt} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

dimana ϕ adalah autokorelasi spasial pada error dan ρ adalah koefisien autokorelasi spasial [3].

3.4 Melihat kebaikan model melalui AIC.

Beberapa kriteria kebaikan model yaitu dengan melakukan pengukuran terhadap nilai *Akaike information criterion* (AIC) dan *Bayesian Information Criterion* (BIC).

3 PEMBAHASAN

3.1 Eksplorasi Data

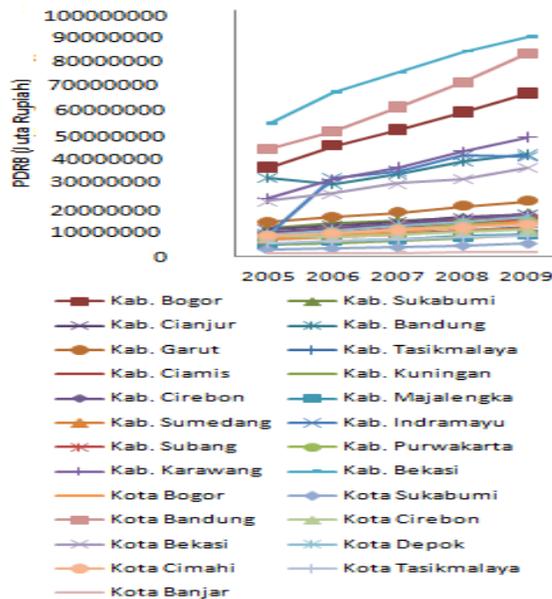
Eksplorasi data yang dilakukan dalam penelitian ini dengan melihat korelasi peubah respon dan penjelas serta melihat pergerakan dari peubah respon yakni PDRB setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat. Hasil pengecekan hubungan antara peubah respon dengan peubah penjelas disajikan dalam Tabel 1. Dari empat peubah yang digunakan hanya peubah IPM yang tidak memiliki hubungan terhadap peubah respon pada taraf nyata 5 %.

Tabel 1 Korelasi antara peubah respon dan peubah penjelas

Peubah	PDRB	Nilai p
PAD	0.499	0.000
TBD	0.186	0.038
JP	0.797	0.000
IPM	-0.045	0.618

Peubah IPM merupakan suatu ukuran yang dijadikan sebagai indikator untuk menjelaskan bagaimana penduduk suatu wilayah mempunyai suatu kesempatan untuk mengakses hasil dari suatu pembangunan sebagai bagian dari haknya dalam memperoleh pendapatan, kesehatan, pendidikan dan sebagainya. Sehingga untuk dapat mengetahui benar tidaknya ada hubungan kausalitas antar peubah perlu dilakukan analisis lebih lanjut tidak hanya dilihat dari sisi korelasi antar peubahnya saja.

Pada Gambar 1 dapat dilihat pergerakan PDRB sejak tahun 2005 hingga tahun 2009 menunjukkan tren nilai yang menaik di setiap tahunnya untuk semua kota dan kabupaten. Kontribusi PDRB terbesar untuk Provinsi Jawa Barat diberikan oleh Kabupaten Bekasi, dilanjutkan oleh Kota Bandung dan Kabupaten Bogor. Sedangkan Kota Banjar, Kota Sukabumi dan Kabupaten Kuningan merupakan kabupaten/kota yang memberikan kontribusi terkecil terhadap PDRB di Jawa Barat. Jika diperhatikan untuk kabupaten/kota dengan nilai tertinggi merupakan daerah yang memiliki kontribusi sektor industri tertinggi dan merupakan lokasi-lokasi yang bertetangga dengan DKI Jakarta. Lokasi-lokasi yang saling bertetangga diduga akan memberikan pengaruh terhadap lokasi yang bertetangga dengannya. Dari hal ini diduga bahwa terdapat kebergantungan spasial antar lokasi pada tingkat PDRB di Kabupaten/Kota di Jawa Barat.



Gambar 1 Grafik pergerakan tingkat PDRB di provinsi Jawa Barat.

3.2 Analisis Data Panel

Pada Tabel 2 dapat dilihat peubah yang berpengaruh nyata terhadap respon untuk model gabungan pada taraf 5 % yaitu PAD, JP dan IPM. Pada Tabel 3 peubah yang berpengaruh nyata terhadap respon untuk model pengaruh tetap pada taraf 5 % yaitu JP dan IPM.

Untuk mengetahui model yang cocok antara model gabungan dan tetap digunakan dilakukan uji Chow. Hasil dari uji Chow memberikan nilai p sebesar 0.000. Nilai p yang kurang dari taraf nyata 5% ini berimplikasi H_0 dapat ditolak. Dengan demikian model sementara yang digunakan adalah model data panel dengan pengaruh tetap.

Tabel 2 Hasil pendugaan model gabungan

Peubah	Koef	Galat Baku	Nilai t	Nilai p
C	0.135	5.064	0.027	0.979
PAD	0.129	0.052	2.474	0.015
TBD	0.026	0.023	1.155	0.250
JP	0.910	0.072	12.713	0.000
IPM	3.112	1.174	2.650	0.009

Tabel 3 Hasil pendugaan model panel pengaruh tetap

Peubah	Koef.	GalatBaku	Nilai t	Nilai p
C	-28.554	8.722	-3.274	0.002
PAD	-0.005	0.024	-0.204	0.839
TBD	-0.003	0.010	-0.324	0.747
JP	1.295	0.346	3.737	0.000
IPM	9.552	1.515	6.303	0.000

Sesuai dengan langkah analisis data panel, jika hasil pengujian Chow menolak hipotesis nol maka selanjutnya dilakukan pemodelan pengaruh acak. Peubah yang berpengaruh signifikan pada model pengaruh acak yaitu peubah JP dan IPM, ditunjukkan dengan nilai p kedua peubah tersebut kurang dari $\alpha = 5\%$.

Tabel 4 Hasil pendugaan model panel pengaruh acak

Peubah	Koef	GalatBaku	Nilai t	Nilai p
C	-17.607	5.832	-3.019	0.003
PAD	0.001	0.024	0.077	0.936
TBD	-0.002	0.010	-0.257	0.798
JP	1.080	0.112	9.661	0.000
IPM	7.651	1.251	6.116	0.000

Uji Hausman dilakukan untuk memilih model data panel dengan pengaruh tetap atau model pengaruh acak yang akan digunakan. Hasil uji ini menunjukkan nilai χ^2 hitung sebesar 14.366 serta nilai p sebesar 0.006, lebih kecil dari $\alpha = 5\%$. Hal ini berimplikasi hipotesis nol dapat ditolak, artinya model data panel yang digunakan adalah model data panel pengaruh tetap.

3.2.1 Pengujian Asumsi

Penggunaan data deret individu untuk penelitian perlu dicurigai adanya indikasi *heteroscedasticity*. Hal ini dapat dilihat dengan membandingkan nilai jumlah kuadrat galat model data panel yang terboboti dan data panel yang tidak terboboti. Jika nilai jumlah kuadrat galat dari model yang terboboti lebih kecil dari jumlah kuadrat galat yang tidak terboboti,

artinya terjadi kasus *heteroscedasticity*. Nilai jumlah kuadrat galat terboboti sebesar 3.885, lebih kecil dibandingkan jumlah kuadrat galat tidak terboboti. Hal ini menandakan terdapat pelanggaran asumsi *homoscedasticity*. Pengecekan adanya pelanggaran autokorelasi dapat diidentifikasi dari nilai durbin-watson (DW) yang dihasilkan. Pada Tabel 6, dapat dilihat untuk model pengaruh tetap nilai DW yang dihasilkan sebesar 1.084, dengan unit pengamatan sebanyak 125 dan peubah yang digunakan adalah empat, didapatkan nilai $d_L = 1.643$ dan $d_U = 1.774$. Jika nilai DW antara 0 dan d_L mengindikasikan adanya autokorelasi, dari hasil pendugaan didapatkan nilai ($0 < DW < 1.643$), artinya terjadi autokorelasi positif. Pengecekan asumsi selanjutnya yaitu asumsi kenormalan pada galat. Hasil pengujian menggunakan Jarque Bera (JB) test memberikan nilai JB dan nilai p sebesar 4.321 dan 0.115. Karena nilai p lebih besar dari α , maka hipotesis nol tidak ditolak yang menandakan bahwa galat menyebar normal.

3.3 Analisis Spasial Data Panel

Model panel menunjukkan adanya pengaruh tetap, selanjutnya pengaruh tetap inilah yang akan disertakan dalam analisis spasial data panel. Adanya pelanggaran asumsi autokorelasi dalam data panel dapat dijadikan sebagai langkah awal untuk pendeteksian adanya pengaruh spasial dalam data yang dimiliki.

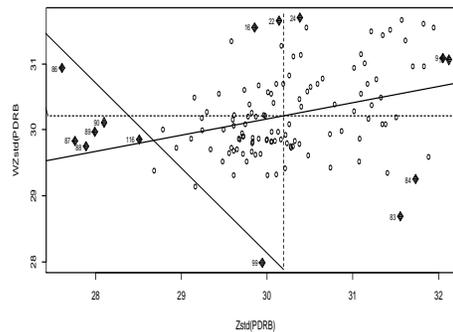
3.3.1 Matriks Pembobot Spasial

Pembentukan matriks pembobot spasial untuk melihat kekuatan interaksi yang terjadi antar lokasi. Metode *queen contiguity* yang telah dinormalisasi baris digunakan dalam penelitian ini. Metode ini memberikan nilai 1 pada setiap daerah yang bersinggungan baik sisi maupun sudut, dan memberikan nilai 0 untuk selainnya. Dalam menormalisasikan baris matriks *contiguity* menjadi matriks pembobot spasial dilakukan dengan membagi setiap unsur dalam matriks *contiguity* dengan total nilai setiap barisnya. Sehingga setiap unsur dapat mewakili bobot spasial dengan nilai pembobot dari keseluruhan lokasi yang saling berdekatan.

3.3.2 Indeks Moran

Tahap awal dalam melakukan analisis spasial yaitu mengecek keberadaan adanya pengaruh spasial. Hasil pengujian Indeks Moran memberikan nilai I sebesar 0.247 dengan nilai p sebesar 0.000. Nilai harapan dari indeks Moran (I_0) sebesar -0.008, dengan didaptkannya nilai $I > I_0$ dan nilai p yang kurang dari α (5%), maka cukup bukti untuk mengatakan bahwa terdapat autokorelasi spasial positif antar lokasi dalam tingkat PDRB di provinsi Jawa Barat.

Keberadaan autokorelasi spasial positif juga dapat dilihat pada Gambar 2. Dimana pada gambar tersebut menunjukkan kemiringan garis yang positif.



Gambar 2 Diagram pencar Moran

3.3.3 Uji Penganda Lagrange

Pada Tabel 5 dapat dilihat nilai χ^2 hitung untuk LM SAR dan LM SEM lebih besar dari nilai χ^2 tabel (0.455) dengan nilai p untuk keduanya lebih kecil dari α (5%). Hal ini menyimpulkan bahwa H_0 dapat ditolak artinya dapat dilanjutkan analisis spasial data panel dengan kebergantungan spasial baik pada lag maupun pada galat.

Tabel 5 Hasil uji pengganda Lagrange

Uji_LM	Nilai	Khi-kuadrat	Nilai p
LM-SAR	9.566	3.841	1.982e-03
LM-SEM	20.801	3.841	5.090e-06

3.3.4 Pendugaan Model Spasial Lag Panel Pengaruh Tetap

Pada pendugaan model ini didapatkan peubah yang berpengaruh secara signifikan pada model yaitu peubah PAD, JP dan IPM. Persamaan model yang terbentuk yaitu:

$$\begin{aligned}
 Lny_{it} = & 0.160 \sum_{j=1}^N w_{ij} Lny_{jt} + 0.116 \text{ Ln PAD}_{it} + 0.016 \text{ Ln TBD}_{it} + 0.748 \text{ Ln JP}_{it} \\
 & + 6.359 \text{ Ln IPM}_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}
 \end{aligned}$$

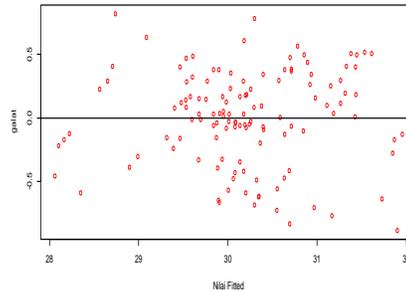
Koefisien autoregresi spasial (lambda) yang diperoleh sebesar 0.160. Koefisien aoutoregresi ini dapat diartikan bahwa korelasi tingkat PDRB pada satu kota/kabupaten dengan kota/kabupaten lain yang menjadi tetangganya sebesar $\exp(0.160)$ dikali rata-rata tingkat PDRB di kota/kabupaten yang mengelilinginya.

Tabel 6 Hasil pendugaan model spasial lag panel dengan pengaruh tetap

Peubah	Koef	Galat Baku	Nilai t	Nilai p
lambda	0.160	0.086	1.991	0.046
PAD	0.116	0.041	2.821	0.005
TBD	0.016	0.017	0.944	0.345
JP	0.748	0.070	10.611	0.000
IPM	6.359	1.704	3.731	0.000

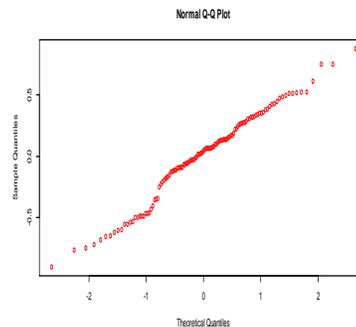
Jika merujuk pada Tabel 1, peubah IPM merupakan peubah yang tidak berkorelasi dengan PDRB. Tetapi setelah dilakukan analisis spasial data panel, peubah IPM memiliki pengaruh yang nyata terhadap tingkat PDRB. Hal ini berkaitan dengan hal yang telah diungkapkan dalam latar belakang, bahwa tingkat PDRB suatu lokasi tertentu dipengaruhi pula oleh kualitas dan potensi dari sumber daya yang ada baik alam maupun manusia. IPM merupakan indeks rata-rata dari tiga komponen penyusunnya yaitu daya beli masyarakat, tingkat kesehatan dan pendidikan. Koefisien penduga untuk IPM pun bernilai positif, terhadap tingkat PDRB. Semakin besar nilai IPM dari suatu lokasi tertentu maka kondisi atau potensi dari penduduk di lokasi tersebut dapat dikatakan semakin baik.

Pengujian asumsi yang dilakukan pada model spasial data panel ini yaitu asumsi kenormalan, kehomogenan ragam dan autokorelasi. Secara eksplorasi untuk pengecekan keacakan sisaan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram pencar antara galat dan nilai Y duga pada model spasial lag panel.

Pada Gambar 3 plot antara nilai dugaan dan galat memiliki pola tebaran yang acak, atau dengan kata lain asumsi galat saling bebas terpenuhi. Selain itu Gambar 3 juga menunjukkan pencaran dari sebaran galat yang homogen, hal ini mengindikasikan bahwa ragam galat bersifat homogen.



Gambar 4 Plot kenormalan galat pada model spasial lag panel

Pengecekan kenormalan galat dapat dilihat melalui plot QQ normal pada Gambar 4 sebaran galat hampir membentuk garis linear yang menandakan bahwa galat menyebar normal. Selain itu hasil pengujian Jarque Bera (JB) diperoleh nilai p sebesar 0.3076 lebih besar dari α (5%). Hal ini menandakan bahwa asumsi galat menyebar normal terpenuhi.

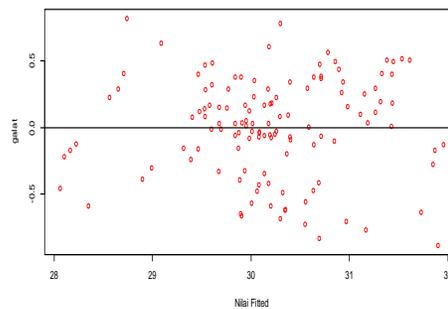
3.3.5 Pendugaan Model Spasial Galat Panel Pengaruh Tetap

Pada pendugaan model ini didapatkan peubah yang berpengaruh secara signifikan pada model yaitu peubah PAD, JP dan IPM. Koefisien autokorelasi spasial (ρ) yang diperoleh sebesar 0.346. Koefisien autokorelasi ini dapat diartikan bahwa korelasi spasial galat pada satu kota/kabupaten dengan kota/kabupaten lain yang menjadi tetangganya sebesar \exp

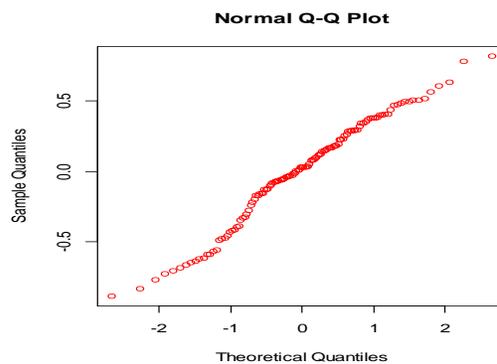
(0.346) dikali rata-rata galat di kota/kabupaten yang mengelilinginya. Persamaan model yang terbentuk yaitu:

$$\begin{aligned} \ln y_{it} &= 0.106 \ln \text{PAD}_{it} + 0.030 \ln \text{TBD}_{it} + 0.756 \ln \text{JP}_{it} + 6.254 \ln \text{IPM}_{it} + \mu_i \\ &+ \phi_{it} \\ \phi_{it} &= 0.346 \sum_{j=1}^N w_{ij} \phi_{it} + \epsilon_{it} ; j \neq i \end{aligned}$$

Pengujian asumsi yang dilakukan pada model spasial data panel ini yaitu asumsi kenormalan, kehomogenan ragam dan autokorelasi. Secara eksplorasi untuk pengecekan keacakan sisaan dapat dilihat pada Gambar 5. Pada gambar tersebut plot antara nilai dugaan dan galat memiliki pola tebaran yang acak, atau dengan kata lain asumsi galat saling bebas terpenuhi. Selain itu Gambar 5 juga menunjukkan pencaran dari sebaran galat yang homogen, hal ini mengindikasikan bahwa ragam galat bersifat homogen.



Gambar 5 Diagram pencar antara galat dan nilai Y duga pada model spasial galat panel.



Gambar 6 Plot kenormalan galat pada model spasial galat panel.

Pengecekan kenormalan galat dapat dilihat melalui plot QQ normal pada Gambar 6 sebaran galat hampir membentuk garis linear. Selain itu hasil pengujian Jarque Bera (JB)

diperoleh nilai p sebesar 0.831 lebih besar dari α (5%). Kedua hal ini menandakan bahwa asumsi galat menyebar normal terpenuhi.

3.3.6 Kebaikan Model

Kriteria yang digunakan untuk melihat kebaikan model yaitu dengan menggunakan nilai AIC dan BIC. Berdasarkan Tabel 7, model yang memiliki nilai AIC dan BIC terkecil yaitu model spasial lag panel dengan pengaruh tetap. Selain berdasarkan kriteria tersebut, pemilihan model terbaik juga dapat dilihat dari hasil pengujian pengganda Lagrange. Folmer (2012) menyatakan pemilihan model spasial data panel dilakukan dengan melihat nilai hasil uji pengganda Lagrange, dimana kriteria dalam memilih model yang akan digunakan yaitu dengan nilai uji pengganda Lagrange terbesar dan nilai p yang terkecil.

Tabel 7 Perbandingan nilai kriteria kebaikan model

Kriteria	SAR Panel	SEM Panel
AIC	-243.935	-238.864
BIC	373.745	378.817

Dengan demikian berdasarkan rujukan tersebut memilih model spasial galat panel dengan pengaruh tetap dalam pemodelan tingkat PDRB Kabupaten/Kota Jawa Barat masih dapat digunakan. Selain itu, alasan untuk tetap mempertahankan model spasial galat panel dapat digunakan adalah karena nilai kriteria kebaikan model, baik AIC maupun BIC menunjukkan rentang nilai yang tidak terpaut jauh dengan model spasial lag panel. Sehingga pemilihan model spasial galat panel masih memungkinkan.

4 KESIMPULAN

Model terbaik yang diperoleh berdasarkan kriteria nilai AIC dan BIC dalam memodelkan tingkat PDRB di Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Barat yaitu model spasial lag panel dengan pengaruh tetap. Peubah yang berpengaruh dalam penelitian ini yaitu PAD, Jumlah Penduduk dan IPM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baltagi BH. 2005. *Econometrics Analysis of Panel Data*. Ed ke-3. England : John Wiley and Sons, LTD.
- [2] Gujarati DN. 2003. *Basic Econometrics*. Ed ke-4. Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [3] Elhorst JP. 2009. *Spatial Panel Data Models*. In Fischer MM, Getis A (Eds.) *Handbook of Applied Spatial Analysis*, Ch. C.2. Berlin Heidelberg New York: Springer.
- [4] LeSage J.P. (1999). *The Theory and Practice of Spatial Econometrics*. Departement of Economics University of Toledo.
- [5] Anselin, *et al.* 2006. *Spatial Panel Data Models*. In Fischer MM, Getis A (Eds.) *Handbook of Applied Spatial Analysis*, Ch. Berlin Heidelberg New York: Springer.

Matematika

PROSES PENGEMBANGAN PERANGKAT PEMBELAJARAN MATEMATIKA BERTARAF INTERNASIONAL

Hamzah Upu

FMIPA UNM, Makassar

e-mail: hamzahupu@gmail.com, kampus UNM Parang Tambung, Makassar, 90224,
Phone (0411) 4864936

ABSTRAK

Tujuan penelitian mendukung; (1) kebijakan pemerintah dalam Undang-Undang No. 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional, khususnya pendidikan bertaraf internasional, dan (2) International Class Program UNM yang dimulai sejak tahun 2007 di FMIPA. Target khusus adalah menghasilkan; (1) *Student book*, (2) *Student Worksheet* dan (3) *Lesson Plan*, untuk menunjang matakuliah *English for Mathematics* di Prodi Pendidikan Matematika. Desain penelitian adalah modifikasi dan adaptasi R&D model *Four-D* (Thiagarajan, 1974) yang meliputi 4 tahap; *Define, Design, Develop, dan Disseminate*. Kriteria yang digunakan sebagai acuan perangkat bertaraf internasional: (1) Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI, Peraturan Presiden No. 20 Tahun 2012), (2) perangkat pembelajaran ditulis dalam Bahasa Inggris, (3) validator native speakers, (4) Struktur isi mampu menggiring pola pikir, wawasan keilmuan, dan content knowledge mahasiswa bertaraf internasional. Hasil penelitian menunjukkan: (1) pengembangan *Student Book* menekankan pada 3 aspek utama, yaitu; kejelasan aspek dan struktur isi, bahasa, dan pemecahan masalah, (2) pengembangan *Student Worksheet* menekankan pada 3 aspek utama, yaitu; petunjuk pengerjaan, urutan pengerjaan, dan bahasa, (3) pengembangan *Lesson Plan* menekankan pada 4 aspek utama, yaitu; rumusan kompetensi dasar, alokasi waktu, materi dan strukturnya

Key Words: Proses Pengembangan, Perangkat Pembelajaran, Bertaraf Internasional

1 PENDAHULUAN

Pendidikan bertaraf internasional melalui pendekatan *bilingual* merupakan salah satu program penting pemerintah dewasa ini dalam dunia pendidikan. Pemerintah telah mengaturnya melalui Undang-Undang Sistem Pendidikan Nasional yaitu, *The National Educational System number 20, 2003, states that the central government and/or the local government establish at least one school in each educational level to be developed into an International Standard School (ISS). An ISS is a school that satisfies all standards of national education and is enriched by contents referring to educational standards from at least one country that is a member of Organization for Economic Co-operation and Development*

(OECD) and/or from other developed countries with certain advantages in the educational field.

Salah satu masalah yang dihadapi oleh pemerintah dalam pencapaian standar pendidikan bertaraf internasional adalah belum tersedianya perangkat pembelajaran yang bertaraf Internasional. Perangkat pembelajaran yang dimaksud, bukan hanya dalam bidang MIPA, akan tetapi semua matapelajaran lain di sekolah maupun di Perguruan Tinggi.

Rasionalisasi dari *pendidikan bertaraf internasional* melalui pendidikan Bilingual adalah; (1) *Sociocultural*, yang meliputi; (a) *Symbolic and psychological importance for individual's identify* dan (b) *Practical value for intercultural communication*, (2) *Economic*, terdiri dari; (a) *Globalism economy and economic development* (b) *Limited number of global/regional lingua francas (esp. English as an international language)* dan (3) *Cognitif*, terdiri dari; (a) *Additive bilingualism* dan (b) *Superior language learning ability and intercultural sensitivity*.^[1]

Gagasan Baker^[1] mengenai *pendidikan bertaraf internasional* relevan dan bahkan ada kecocokan dengan pelaksanaan pendidikan bertaraf internasional di Indonesia dengan pertimbangan; (1) metode tersebut akan diterapkan di prodi pendidikan yang bukan Bahasa Inggris, (2) mayoritas mahasiswa yang akan diajar masih rendah penguasaan Bahasa Inggrisnya, dan (3) penggunaan pendekatan *bilingual* dalam pembelajaran lebih memungkinkan terjadinya interaksi yang lebih intensif, dibandingkan dengan monolingual.

1.1 Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana mengembangkan Buku Ajar Mahasiswa bertaraf internasional pada matakuliah Bahasa Inggris untuk Matematika?
- 2) Bagaimana mengembangkan Lembar Kerja Mahasiswa bertaraf internasional pada matakuliah Bahasa Inggris untuk matematika?
- 3) Bagaimana mengembangkan Rencana Program Perkuliahan bertaraf internasional pada matakuliah Bahasa Inggris untuk matematika?

1.2 Kajian Pustaka

Berbagai Negara telah menerapkan pendekatan bilingual diantaranya; (a) Australia, memadukan (German/English; Franch/English; Greck/English; Arabic/English; Hebrew/English; Indigenous Language/English dan Japaneese/English), (b) Thailand,

memadukan (English/Thai), di *Sarasas Extra School*, dan (c) Japan, menggabungkan (Japan/English) dalam proses pembelajaran di Katoh Gakuen^[1].

Pengertian pendidikan bertaraf internasional

Beberapa definisi tentang pendidikan bertaraf *International*. Hasibuan^[4] mengaitkan pendidikan bertaraf *International* dengan *dual degree*. Hasil wawancara^[2] dilaporkan bahwa salah satu penekanan atau perbedaan antara kampus reguler dengan kampus bertaraf *International* adalah fasilitas yang dimilikinya. Pengertian lain dikemukakan oleh Made^[5] yaitu kampus yang menjalankan kurikulum dengan bahasa pengantar bahasa Inggris, memiliki perpustakaan dengan koleksi buku-buku asing, atau telah menjalin kerjasama dengan lembaga pendidikan asing. Sejalan dengan pandangan Made, Azizy^[5] menyatakan bahwa pendidikan bertaraf *International* adalah pendidikan dimana aturan-aturan yang dipakai bertaraf *International*. Selain menggunakan Bahasa Inggris sebagai bahasa pengantar perkuliahan, standar yang digunakan juga bertaraf *International*^{[3], [12]}.

Upu^{[9], [10], dan [11]} mengemukakan beberapa kriteria tantang pendidikan bertaraf *International* di Perguruan Tinggi yaitu:

- 1) Sarana Prasarana meliputi; (a) sarana pembelajaran dan perangkat pembelajarannya berbasis ICT; (b) perpustakaan berbasis software (lebih diutamakan); (c) ruang belajar tersedia; multimedia, klinik dan sarana olahraga yang memadai, dan (d) sarana pendukung pembelajarannya mutakhir.
- 2) Pemimpin Fakultas; (a) berpendidikan minimal S2 dari Perguruan Tinggi yang terakreditasi minimal B di dalam negeri atau di luar negeri; (b) mampu berbahasa Inggris secara aktif; (c) berwawasan dan mampu membangun jaringan internasional, memiliki kompetensi manajerial, serta kepemimpinan entrepreneur yang baik; dan (d) mampu menerapkan prinsip-prinsip Educators, Manager, Advisor, Supervisor, Leader, Innovator, dan Motivator.
- 3) Tenaga Pendidik; (a) mampu memfasilitasi pembelajaran berbasis ICT; (b) mampu mengampu pembelajaran dengan pengantar bahasa Inggris; (c) berpendidikan S2 atau S3 dari perguruan tinggi terakreditasi minimal B di dalam negeri atau luar negeri; dan (d) inovatif dan kreatif dalam mengelola pembelajaran.
- 4) Pengelolaan Pendidikan; (a) multi kultural; (b) menjalin hubungan “*sister faculties*” dengan fakultas lain bertaraf internasional di negara OECD atau negara maju lainnya; (c)

bebas narkoba, rokok, dan kekerasan; dan (d) mengikuti event internasional pada berbagai kompetisi sains, matematika dan teknologi.

- 5) Proses Pembelajaran Berorientasi pada; (a) Kecerdasan spiritual; (b) cerdas emosional & sosial; (c) cerdas intelektual; (d) cerdas kinestetis; (e) cerdas kompetitif, aktif dan kreatif; (f) kemampuan *soft skills*; dan (h) menggunakan penilaian berbasis autentik.

Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir penelitian ini digambarkan dalam bentuk fishbone diagram

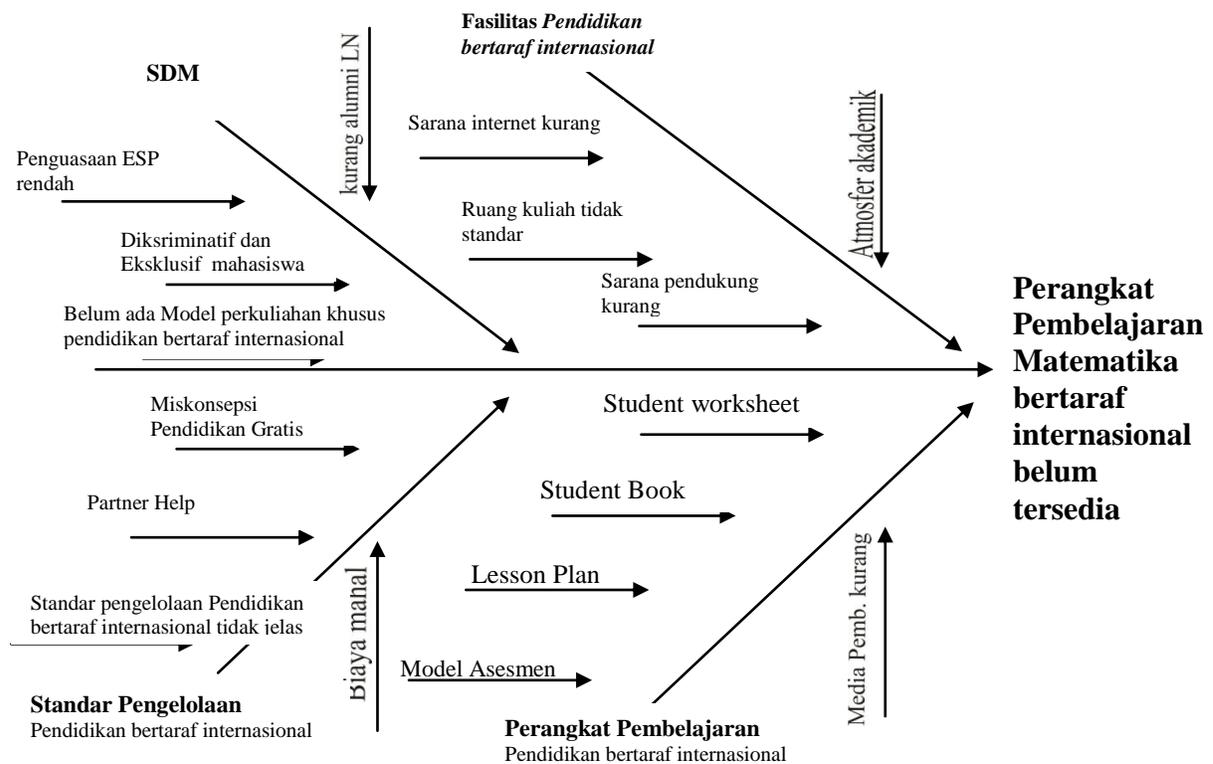


Diagram 1 Fish Bone Kerangka Pikir Penelitian

2 METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah Penelitian Pengembangan (*Research and Development*) yang bertujuan untuk mengembangkan perangkat pembelajaran, yaitu; buku mahasiswa, Lembar Kerja Mahasiswa, dan Rencana Pelaksanaan Perkuliahan. Perangkat pembelajaran tersebut diharapkan dapat mempermudah dosen dalam melaksanakan proses perkuliahan

yang inovatif, menarik minat mahasiswa untuk belajar dan sesuai dengan situasi dan kondisi di lapangan.

2.1 Subjek dan Waktu Penelitian

Subyek penelitian ini adalah mahasiswa program S1 *Pendidikan bertaraf internasional* (ICP) pada semester I, Prodi Pendidikan Matematika. Mereka mempunyai latar belakang bahasa ibu, kemampuan bahasa, kemampuan matematika, *sociocultural*, dan tingkat pendidikan orangtua yang heterogen yang memprogramkan matakuliah *English for Mathematics*.

2.2 Instrumen dan Pengumpulan Data

Lembar validasi perangkat perkuliahan

Validator diminta menuliskan skor yang sesuai dengan memberikan tanda cek (√) pada kolom yang sesuai. Selanjutnya, validator diminta memberikan kesimpulan penilaian umum dengan kategori baik sekali, baik, cukup, kurang dan kurang sekali.

1) Lembar pengamatan aktivitas mahasiswa

Aktivitas mahasiswa direkam melalui pengamatan untuk menjaring data pendukung keefektifan penerapan perangkat perkuliahan. Kegiatan mahasiswa yang diamati yaitu penjelasan dosen dan mahasiswa lain, diskusi dengan teman, membaca (Buku Ajar Mahasiswa, Lembar Kegiatan Mahasiswa, Kerja Soal Latihan), diskusi dengan dosen, perilaku lain yang tidak relevan. Pada lembar pengamatan aktivitas mahasiswa, pengamat menuliskan nomor-nomor kategori aktivitas mahasiswa yang dominan muncul dalam kegiatan perkuliahan.

2) Lembar pengamatan kemampuan dosen mengelola perkuliahan

Instrumen ini disusun untuk memperoleh data tentang kemampuan dosen mengelola perkuliahan sebagai salah satu data pendukung keefektifan perangkat perkuliahan.

3) Lembar pengamatan keterlaksanaan perangkat perkuliahan

Instrumen ini disusun untuk memperoleh data lapangan tentang kepraktisan perangkat perkuliahan. Cara untuk mengumpulkan data lapangan tentang kepraktisan perangkat perkuliahan yaitu dengan memberikan lembar pengamatan kepada pengamat untuk

digunakan dalam mengamati keterlaksanaan aspek atau komponen perangkat perkuliahan pada saat dosen melaksanakan perkuliahan di kelas sesuai petunjuk yang diberikan.

4) *Angket respons mahasiswa*

Data respons mahasiswa terhadap kegiatan ujicoba lapangan yang akan diungkap adalah respons mahasiswa terhadap aspek dalam perkuliahan yang meliputi materi perkuliahan, Buku Ajar Mahasiswa, LKS, suasana perkuliahan di kelas, cara dosen mengajar dan penampilan dosen, dengan memberi tanda cek (√) pada pilihan yang tersedia.

2.3 Teknik Analisis Data

Hasil validasi perangkat perkuliahan

Data hasil validasi para ahli dan praktisi untuk masing-masing perangkat perkuliahan dianalisis dengan mempertimbangkan masukan, komentar, dan saran-saran dari validator. Hasil analisis tersebut dijadikan sebagai pedoman untuk merevisi perangkat perkuliahan. Kejadiannya adalah; (1) melakukan rekapitulasi hasil penilaian ahli, (2) mencari rerata hasil penilaian ahli untuk setiap kriteria, (3) Mencari rerata tiap aspek, (4) Mencari rerata total (\bar{X}), (5) menentukan kategori validitas setiap kriteria \bar{K}_i atau rerata aspek \bar{A}_i atau rerata total \bar{X} dengan kategori validasi yang telah ditetapkan

Kriteria yang digunakan untuk menentukan derajat validitas perangkat adalah nilai \bar{X} untuk keseluruhan aspek minimal berada dalam kategori cukup valid, dan nilai \bar{A}_i untuk setiap aspek minimal berada dalam kategori valid. Jika tidak, maka perlu dilakukan revisi berdasarkan saran dari para validator atau dengan melihat kembali aspek-aspek yang nilainya kurang. Selanjutnya dilakukan validasi ulang lalu dianalisis kembali. Demikian seterusnya sampai memenuhi nilai M minimal berada di dalam kategori valid.

Analisis data kemampuan dosen mengelola perkuliahan

Pengamatan dilakukan oleh pengamat yang sudah dilatih sehingga dapat mengoperasikan lembar pengamatan secara benar.

Analisis data aktivitas mahasiswa

Analisis hasil pengamatan terhadap aktivitas mahasiswa meliputi: (1) frekuensi rata-rata tiap kategori aktivitas tiap pertemuan dilakukan dengan cara menjumlahkan frekuensi kategori aktivitas yang dimaksud dibagi banyaknya mahasiswa yang diamati, (2) presentase tiap kategori aktivitas mahasiswa tiap pertemuan dilakukan dengan cara membagi frekuensi rata-rata tiap kategori aktivitas mahasiswa (point 1) tiap pertemuan dengan jumlah maksimal frekuensi pengamatan pada pertemuan tersebut dikali 100%, dan 3) rata-rata setiap kategori aktivitas mahasiswa untuk seluruh pertemuan, dihitung dengan membagi jumlah persentase setiap kategori aktivitas mahasiswa pada semua pertemuan dengan banyak pertemuan.

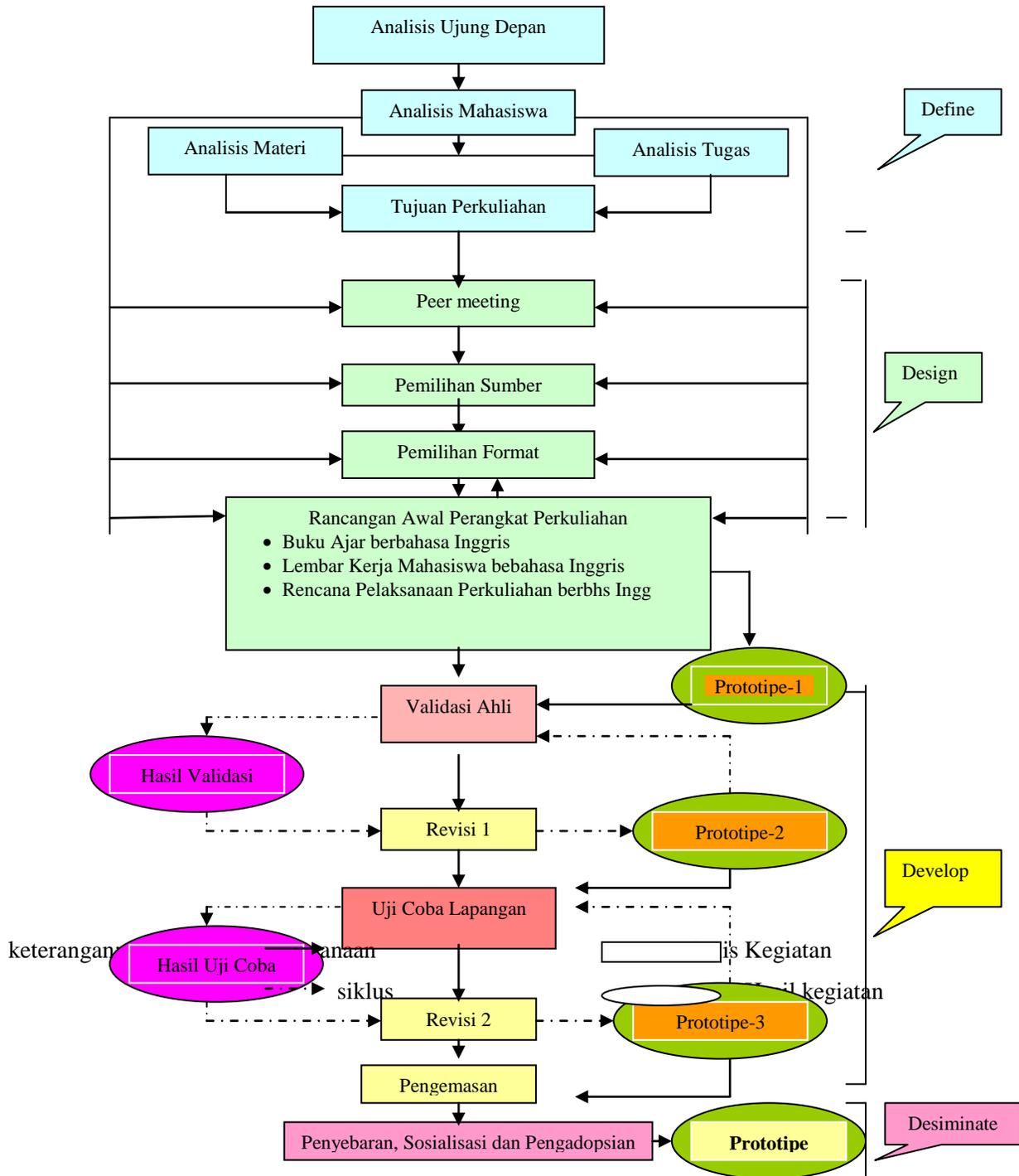
Analisis data keterlaksanaan perangkat perkuliahan

Kegiatan yang dilakukan adalah sebagai berikut: (1) melakukan rekapitulasi hasil pengamatan keterlaksanaan perangkat perkuliahan, (2) mencari rerata setiap aspek pengamatan setiap pertemuan, (3) mencari rerata tiap aspek pengamatan untuk t kali pertemuan, (4) mencari rerata total (\bar{X}), (5) menentukan kategori keterlaksanaan setiap aspek atau keseluruhan aspek dengan mencocokkan rerata setiap aspek \bar{A}_i atau rerata total \bar{X} dengan kategori yang telah ditetapkan;

Analisis data respons mahasiswa

Data respons mahasiswa terhadap perangkat perkuliahan meliputi respons mahasiswa terhadap Buku Ajar dan LKS. Kegiatan yang dilakukan untuk menganalisis data respons mahasiswa, yakni melalui langkah-langkah sebagai berikut: (1) menghitung banyaknya mahasiswa yang memberi respons positif sesuai dengan aspek yang ditanyakan, kemudian menghitung persentasenya, (2) menentukan kategori untuk respons positif mahasiswa dengan cara mencocokkan hasil persentase dengan kriteria yang ditetapkan, (3) jika hasil analisis menunjukkan bahwa respons mahasiswa belum positif, maka dilakukan revisi terhadap perangkat yang tengah dikembangkan.

2.4 Sistematika Pelaksanaan Penelitian



Gambar 1. Modifikasi Model Pengembangan Perangkat Perkuliahan Four-D Thiagarajan

Kriteria yang digunakan sebagai acuan perangkat bertaraf internasional: (1) kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI, Peraturan Presiden No. 20 Tahun 2012), (2) perangkat pembelajaran ditulis dalam Bahasa Inggris, (3) validator perangkat pembelajaran orang asing (Native Speakers), (4) Struktur isi perangkat pembelajaran mampu menggiring pola pikir, wawasan keilmuan, dan content knowledge mahasiswa bertaraf internasional.

3 PROSEDUR, HASIL DAN UJI COBA PERANGKAT PEMBELAJARAN

Prosedur pengembangan perangkat perkuliahan dalam penelitian ini mengikuti langkah-langkah berikut:

3.1 Tahap pendefinisian (Define)

Tahap ini bertujuan untuk menetapkan dan mendefinisikan syarat-syarat yang dibutuhkan dalam perkuliahan. Kegiatan dalam tahap ini adalah analisis ujung depan, analisis mahasiswa, analisis materi, analisis tugas, dan spesifikasi tujuan perkuliahan.

Kajian dan Analisis Ujung Depan

Kegiatan analisis ujung depan dimaksudkan untuk menentukan masalah mendasar yang diperlukan dalam pengembangan materi perkuliahan. Berdasarkan telaah terhadap matakuliah *English for Mathematics* di Jurusan Matematika ternyata masalah mendasar yang perlu diupayakan pemecahannya adalah cara menyajikan perkuliahan^[18]. Kecenderungan perkuliahan selama ini kurang memberikan kesempatan yang cukup kepada mahasiswa untuk mengembangkan kemampuan bahasanya. Akibatnya mahasiswa menjadi pasif, malas bertanya, apatalagi mengemukakan pendapatnya baik dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris. Proses perkuliahan lebih didominasi oleh dosen, sementara mahasiswa hanya siap mendengarkan dan menyalin apa yang disampaikan oleh dosen.

Kajian dan Analisis Mahasiswa

Analisis mahasiswa dimaksudkan untuk menelaah karakteristik mahasiswa, yang meliputi pengetahuan awal, bahasa yang digunakan, perkembangan kognitif, kecenderungan berkelompok dan berdiskusi (sosial kultural).^{[6], [7], [8]}

Kajian dan Analisis Materi Perkuliahan

Analisis materi tersebut dimaksudkan untuk mengidentifikasi, merinci, dan menyusun secara sistematis materi utama yang akan dipelajari mahasiswa. Materi tersebut akan disusun secara hirarkis dan memilah berdasarkan peranannya.

Kajian dan Analisis Tugas Matakuliah

Analisis tugas dimaksudkan untuk mengidentifikasi keterampilan utama yang diperlukan untuk merancang tugas-tugas yang akan dilakukan mahasiswa selama dan setelah melaksanakan perkuliahan^{[13], [14]}. Tugas mahasiswa mencakup pemahaman terhadap materi dan tujuan perkuliahan serta dijadikan acuan untuk merumuskan tujuan perkuliahan dan keterampilan yang dikembangkan dalam perangkat perkuliahan.

Spesifikasi Tujuan Perkuliahan

Analisis spesifikasi tujuan perkuliahan bertujuan untuk merumuskan tujuan perkuliahan berdasarkan analisis mahasiswa, analisis materi dan analisis tugas.

3.2 Tahap perancangan (Design)

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah pemilihan media, pemilihan format, perancangan awal perangkat perkuliahan, dan pemilihan tes hasil belajar

Pemilihan Sumber Belajar. Pemilihan sumber belajar dimaksudkan untuk menentukan sumber belajar yang sesuai untuk menyajikan materi perkuliahan bertaraf *internasional*. Sumber belajar tersebut juga disesuaikan dengan analisis kompetensi dasar, analisis tugas, dan fasilitas yang ada di kampus.

Pemilihan Gaya Selingkung

Pemilihan gaya selingkung perkuliahan bertujuan untuk mendesain atau merancang isi perkuliahan, pemilihan model, pendekatan, metode dan strategi perkuliahan serta sumber belajar yang akan dikembangkan.

Hasil Pengembangan Perangkat Pembelajaran dan Uji Coba

Rancangan awal masing - masing perangkat perkuliahan *English for Mathematics* yaitu menghasilkan *Prototipe-1 Student Book, Student Worksheet, dan Lesson Plan. Prototipe-1* dari masing – masing perangkat tersebut, selanjutnya dikembangkan untuk memperoleh *prototipe-2*

3.3 Tahap pengembangan (Develop)

Tahap pengembangan dimaksudkan untuk menghasilkan *prototipe-2* perangkat perkuliahan yang telah direvisi berdasarkan hasil analisis *prototipe-1*. Masukan para ahli dan praktisi serta hasil analisis kegiatan perkuliahan merupakan hal yang penting pada tahap ini ^{[15], [16], [17]}.

Validasi ahli dan praktisi perkuliahan

Validasi ahli dan praktisi diarahkan untuk mengevaluasi isi dan bahasa perangkat perkuliahan. Penilaian tersebut mencakup: a) gaya selingkung, b) bahasa, c) ilustrasi dan d) isi perkuliahan.

Untuk setiap indikator pada kegiatan validasi dibagi ke dalam sub-sub indikator sebagai berikut:

a) gaya selingkung, perangkat perkuliahan terdiri atas: kejelasan pembagian materi, penomoran, kemenarikan, keseimbangan antara teks dan ilustrasi, jenis dan ukuran huruf, pengaturan ruang, kesesuaian ukuran fisik dengan mahasiswa, b) bahasa, terdiri atas: kebenaran tata bahasa, kesesuaian kalimat dengan tingkat perkembangan berpikir dan kemampuan membaca, arahan untuk membaca sumber lain, kejelasan definisi tiap terminologi, kesederhanaan struktur kalimat, kejelasan petunjuk dan arahan. c) ilustrasi, terdiri atas: dukungan ilustrasi untuk memperjelas konsep, keterkaitan secara langsung dengan konsep yang dibahas, kejelasan, keterpahaman, penggunaan konteks lokal, dan ketidakbiasan gender. d) isi terdiri atas: kebenaran isi, bagian-bagiannya tersusun secara logis, kesesuaian dengan kurikulum, memuat semua informasi penting yang berkait, hubungan dengan materi perkuliahan sebelumnya, kecocokan dengan pola pikir mahasiswa, berisi dengan latihan yang berhubungan dengan konsep yang diajarkan, tidak terfokus pada stereotip tertentu (etnis, jenis kelamin, agama dan status sosial).

Saran dari para ahli dan praktisi serta hasil analisis *prototipe-1* digunakan sebagai landasan untuk mendapatkan *Prototipe-2*. Validasinya mencakup: (1) isi

perangkat perkuliahan. Apakah isi perangkat perkuliahan sesuai dengan materi perkuliahan dan tujuan yang akan diukur, (2) bahasa: (a) apakah kalimat perangkat perkuliahan menggunakan Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia yang baik dan benar, (b) apakah kalimat pada perangkat perkuliahan tidak menimbulkan penafsiran ganda.

Setelah perangkat perkuliahan (*prototipe-1*) diberikan penilaian (validasi) dan direvisi berdasarkan masukan dan saran para ahli dan praktisi serta refleksi yang mendalam, maka diperoleh perangkat perkuliahan *prototipe-2*.

Ujicoba Pengembangan Perangkat Pembelajaran terbatas lapangan

Ujicoba terbatas lapangan dilakukan untuk memperoleh gambaran langsung dari mahasiswa berupa respons, reaksi, komentar mahasiswa dan para pengamat dalam rangka revisi *prototipe-2* untuk persiapan *prototipe-3*.

Kegiatan yang dilakukan pada uji coba terbatas di lapangan adalah: (1) mengujicobakan *Prototipe-2*, instrumen yang sesuai yang telah memenuhi kriteria kevalidan. Ujicoba tersebut berbentuk pelaksanaan perkuliahan di kelas dengan menggunakan perangkat perkuliahan dan instrumen yang telah valid, (2) menganalisis hasil uji coba lapangan, dan (3) melakukan revisi berdasarkan hasil analisis uji coba untuk menghasilkan *Prototipe-3*

Tujuan utama pelaksanaan ujicoba perangkat perkuliahan pada tahap ini adalah untuk mengetahui kejelasan, keterbacaan dan kecocokan antara waktu yang direncanakan dalam rencana perkuliahan dengan pelaksanaannya. Hasil uji coba digunakan untuk penyempurnaan perangkat perkuliahan (*Prototipe*) yang telah dihasilkan. Pada tahap ini, Tim peneliti mengamati aktivitas mahasiswa, kemampuan dosen mengelola perkuliahan, dan keterlaksanaan perangkat perkuliahan. Tahap pengembangan (*develop*) menghasilkan *prototipe-3*, selanjutnya perangkat *prototipe-3* disosialisasikan, sehingga menghasilkan prototipe akhir.

3.4 Tahap penyebarluasan (Desseminate)

Tahap penyebarluasan (*desseminate*) dilakukan dengan melaksanakan kegiatan sosialisasi perangkat pembelajaran yang telah difinalisasi. Kegiatan sosialisasi tersebut melalui seminar, workshop, dan kuliah umum dengan melibatkan dosen, mahasiswa, guru, dan tenaga kependidikan.

4 SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan:

- 1) Pengembangan *Student Book* matakuliah *English for mathematics* menekankan pada 3 aspek utama, yaitu; kejelasan aspek standar kompetensi dan struktur isi, bahasa, dan pemecahan masalah.
- 2) Pengembangan *Student Worksheet* matakuliah *English for Mathematics* menekankan pada 3 aspek utama, yaitu; petunjuk dan urutan pengerjaan *Student Worksheet* itu sendiri serta bahasa.
- 3) Pengembangan *Lesson Plan* matakuliah *English for Mathematics* menekankan pada 4 aspek utama, yaitu; rumusan kompetensi dasar, alokasi waktu, materi dan struktur isi pembelajaran setiap pertemuan.

Saran:

- 1) Disarankan kepada dosen, khususnya dosen pada Prodi Pendidikan Matematika, kiranya memperhatikan hal – hal yang menjadi penekanan dalam mengembangkan perangkat pembelajaran bertaraf internasional, sehingga perangkat tersebut menjadi salah satu pegangan pokok dalam mengajarkan matakuliah masing – masing.
- 2) Disarankan kepada mahasiswa Prodi Pendidikan matematika yang mengikuti matakuliah matakuliah *English for Mathematics* untuk mensinergikan penggunaan perangkat pembelajaran dengan baik dan simultan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baker, C. 2006. *Foundation of Bilingual Education and Bilingualism (4th edition)*, Clevedon: Multilingual Matters
- [2] Darma. S. 2006. *Kelas internasional yang full AC dan Toilet (tersedia di saidmkom@gmail.com) tanggal 11 April 2006.*
- [3] Furqan, A. 2008. *Harus Berani Kampanye ke Luar Negeri*. Jakarta: Depag RI.
- Garcia, O. and Baker, C. 1995. *Policy and Practice in Bilingual Education*, Clevedon: Multilingual Matters.
- [4] Hasibuan, M.S. 2008. *Launching Program kelas Internasional*. Tanggal 15 Juni 2008. Bandar Lampung: STMIK Darmajaya.

- [5] Made. 2008. *Kelas Internasional Belum Miliki Payung Hukum*. Jakarta.
- [6] Upu, H. 2006. *English for Teaching Mathematics and Science Revised Edition*. Bandung: Pustaka Ramadhan.
- [7] Upu, H. 2007a. *Pengembangan Proses Belajar Bertaraf Internasional*. Pelatihan yang dilaksanakan di SMP Negeri 6 Makassar pada tanggal 10 November 2007.
- [8] Upu, H. 2007b. *Pengembangan Kurikulum/KTSP Plus Bertaraf Internasional*. Pelatihan yang dilaksanakan di Makassar pada tanggal 6 Oktober 2007.
- [9] Upu, H. 2008a. *Potret Bilingual Program FMIPA UNM*. Makalah yang disampaikan pada pertemuan Nasional Forum MIPA-LPTK di Makassar pada Tanggal 29 Juli 2008.
- [10] Upu, H. 2008b. *Berbagai Tantangan Pendidikan Bertaraf Internasional*. Makalah yang disampaikan pada KONAPSI VI di Denpasar pada Tanggal 17-19 November 2008.
- [11] Upu, H. 2008c. *Variabel X Pendidikan Bertaraf Internasional*. Makalah yang disampaikan pada Forum MIPA LPTK Indonesia di Jakarta pada Tanggal 16 Desember 2008.
- [12] Upu, H. 2009a. *English for Mathematics Instruction*. Bandung: Pustaka Ramadhan.
- [13] Upu, H. 2009b. *Pendidikan Bertaraf Internasional di FMIPA*. Makalah yang disampaikan pada pertemuan Forum MIPA-LPTK Indonesia di Manado pada tanggal 16-18 Oktober 2009.
- [14] Upu, H. 2010a. *Best practice on Bilingual Program*. Kuliah umum yang disampaikan di Jurusan MIPA UNTAD, Palu pada tanggal 22 Februari 2010.
- [15] Upu, H. 2010b. *Math and Science Curriculum Development on Bilingual Program*. Kuliah umum yang disampaikan di Jurusan MIPA UNTAD, Palu pada tanggal 8 Maret 2010.
- [16] Upu, H. 2010c. *Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Bilingual*. Workshop yang dilaksanakan di SMP Negeri 3 Tellu Siattinge pada tanggal 21 Maret 2010.

- [17] Upu, H. 2010d. *Curriculum Development for International Standard of Schooling*. Workshop yang dilaksanakan di SMP Negeri 2 Maros pada tanggal
- [18] Upu, H. 2012. *Developing International Class Program*. Workshop Pengembangan Calon Guru MIPABI di UNPATTI, Ambon

PEREDUKSIAN DIMENSI DATA LUARAN GCM STASIUN AMBON DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS* (PCA)

¹M. W. Talakua, ²F. Y. Rumlawang, ³F. Kondo Lembang dan ⁴G. Loupatty

^{1,2,3} Jurusan Matematika Universitas Pattimura Ambon
e-mail : ¹ocat_08@yahoo.com

4 Jurusan Fisika Universitas Pattimura Ambon

ABSTRAK

Data *Global Circulation Models* (GCM) merupakan data spasial dan temporal di mana kemungkinan besar terjadi korelasi spasial antara data pada grid yang berbeda dalam satu domain. Sebelum pemodelan dilakukan diperlukan suatu kajian tentang pra-pemrosesan yaitu metode reduksi dimensi. Reduksi dimensi adalah bagian penting bagi prosedur menganalisis data berdimensi tinggi. Pada penelitian ini digunakan metode untuk mereduksi dimensi variabel prediktor luaran GCM domain 3x3, 8x8, dan 12x12 untuk stasiun kota Ambon, yaitu *Principal Component Analysis* (PCA). Ide awal *Principal Component Analysis* (PCA) adalah meringkas /menyusutkan dimensi dari sekumpulan data yang berisi sejumlah variabel yang saling berhubungan, dengan tetap mempertahankan sebanyak mungkin keragaman yang dapat dijelaskan. Total keragaman yang dipakai adalah 90% untuk mendapatkan komponen utama yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total variabel prediktor yang dihasilkan dengan metode PCA pada domain 3x3 adalah 17 variabel, domain 8x8 adalah 36 variabel, dan domain 12x12 adalah 51 variabel. Semakin luas domain maka semakin banyak komponen utama yang dipakai untuk memperoleh keragaman lebih dari 90%.

Kata kunci : GCM, PCA, Domain, Komponen utama, Keragaman

1 PENDAHULUAN

Sampai saat ini, GCM (*General Circulation Models*) diakui banyak pihak sebagai alat penting dalam upaya memahami sistem iklim. Namun informasi GCM masih berskala global, sehingga untuk memperoleh langsung informasi berskala lokal dari GCM diperlukan teknik *downscaling*. Teknik *downscaling* yang digunakan adalah teknik *Statistical Downscaling* (SD), di mana merupakan model statistik yang menggambarkan hubungan antara data pada grid-grid berskala besar (GCM) dengan data pada grid berskala lebih kecil [1]. Oleh karena itu perlu dilakukan reduksi dimensi pada data luaran GCM sebagai pra-pemrosesan suatu model yang akan dipakai. Reduksi dimensi sering kali menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA). Semakin sedikit komponen utama yang dihasilkan dengan keragaman yang dijelaskan semakin besar menandakan metode reduksi dimensi yang dipakai optimal atau terbaik. Dalam [2], Manorang, *et.al* membandingkan metode PCA dan Kernel PCA untuk mereduksi dimensi data luaran GCM Kabupaten Indramayu. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Manorang, *et al*, metode reduksi dimensi PCA memberikan hasil yang lebih baik

dari metode Kernel PCA. Tertarik dengan penelitian Manorang, maka dalam penelitian ini digunakan metode reduksi dimensi *Principal Component Analysis* (PCA). Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji prosedur dan hasil metode PCA untuk mereduksi dimensi data luaran GCM Wilayah Maluku. Kriteria yang digunakan pada pereduksian adalah jumlah komponen utama optimal yang digunakan mampu menjelaskan lebih besar sama dengan 90% keragaman dari keragaman total. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan BMKG untuk kajian dampak iklim dengan basis data luaran GCM, khususnya dalam penggunaan reduksi dimensi PCA.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Principal Component Analysis (PCA)

Ide awal *Principal Component Analysis* (PCA) adalah meringkas/menyusutkan dimensi dari sekumpulan data yang berisi sejumlah variabel yang saling berhubungan, dengan tetap mempertahankan sebanyak mungkin keragaman yang dapat dijelaskan [3]. Secara aljabar PCA adalah kombinasi linier dari p variabel random $\mathbf{X}'=[X_1, X_2, \dots, X_p]$. Kombinasi linier ini adalah seleksi dari koordinat baru dari rotasi variabel asal $[X_1, X_2, \dots, X_p]$ sebagai sumbu koordinat [4]. Sumbu baru ini mampu menjelaskan variasi maksimum dan menghasilkan penjelasan yang lebih simpel dan hemat dari struktur kovarian. Persamaan Untuk mendapatkan Eigenvalue yaitu $\Sigma \mathbf{a}_i = \lambda \mathbf{a}_i$, Persamaan ini disebut juga sebagai persamaan ciri, yang penyelesaiannya dapat dilakukan dengan menyelesaikan persamaan:

$$|\Sigma - \lambda I| = 0 \quad (1)$$

Penyelesaian persamaan ini diperoleh p buah akar ciri (*eigenvalue*) dan p buah vektor ciri (*eigenvector*) yang bersesuaian. Model PC ke- i secara umum dapat ditulis

$$Z_i = \mathbf{e}_i' \mathbf{X} \text{ dimana : } i = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

Sehingga,

$$\text{Var}(Z_i) = \mathbf{e}_i' \Sigma \mathbf{e}_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (3)$$

$$\text{Cov}(Z_i, Z_k) = \mathbf{e}_i' \Sigma \mathbf{e}_k \quad i \neq k \quad (4)$$

prosentase keragaman total yang dapat diterangkan oleh komponen utama ke- i adalah sebagai berikut :

$$\text{Proporsi varians ke-}i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} \quad (5)$$

Apabila PC yang diambil sebanyak k dimana ($k < p$), maka:

$$\text{Proporsi variansi } k \text{ PC} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} \quad (6)$$

Bila PCA menggunakan matriks kovariansi dari data yang terstandarisasi, karena diagonal utama matriks berisi nilai satu, maka total variansi populasi untuk variabel terstandarisasi adalah p , yang merupakan jumlah elemen diagonal matriks ρ . Sehingga:

$$\text{Proporsi variansi ke-}i = \frac{\lambda_i}{p} \quad (7)$$

Jolliffe(1986) mengatakan sebaiknya jumlah PC yang dipilih mampu memberikan kumulatif persen varian 85% atau 90% [3]. Dengan bahasa yang sama Johnson dan Wichern (1998) yaitu antara 80% - 90% dari total varian [4].

2.2 General Circulation Models (GCM)

GCM merupakan penggambaran matematis dari sejumlah besar interaksi fisika, kimia, dan dinamika atmosfer bumi. Model ini menduga perubahan unsur-unsur cuaca dalam bentuk luaran grid-grid yang berukuran 100-500 km menurut lintang dan bujur (von Stroch et al. 1993 dalam [5]). GCM seringkali digunakan untuk mensimulasi iklim pada kondisi dua kali CO₂.

GCM merupakan suatu alat penting dalam analisis keragaman iklim dan perubahan iklim[6]. Informasi GCM masih berskala global dan tidak tepat untuk menggambarkan fenomena skala lebih kecil (lokal). Resolusi GCM terlalu rendah untuk memprediksi iklim lokal yang dipengaruhi oleh sirkulasi atmosfer dan parameter lokal seperti topografi dan tataguna lahan, tetapi GCM masih mungkin digunakan untuk memperoleh informasi skala lokal atau regional bila teknik downscaling digunakan (Fernandez, 2005 dalam [7]). Variabel-variabel prediktor (X) GCM yang digunakan adalah precipitable water (prw), geopotensial (zg), kelembaban spesifik (hus), angin zonal (ua), komponen angin meridional (Vas), dan tekanan permukaan laut (Slp). Variabel respon (Y) adalah curah hujan. Terdapat 16 variabel prediktor GCM yang saling berkorelasi.

3 METODOLOGI

Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari data luaran GCM model CSIRO-Mk3. Domain GCM yang digunakan adalah domain 3x3 , pada posisi 4.66⁰ LS- 8.39⁰ LS, 106.87⁰ BT– 110.64⁰ BT, domain 8x8 , pada posisi 0.93⁰-13.99⁰ LS, 101.12⁰ BT - 114.38⁰ BT; dan domain 12x12 , pada posisi 2.79⁰ LU-17.72⁰ LS, 97.50⁰ BT – 118.125⁰ BT. Lokasi domain yang diambil adalah pada stasiun kota Ambon. Variabel prediktor meliputi: *precipitable water (prw)*, tekanan permukaan laut (*slp*), komponen angin meridional (*va*), komponen zonal (*ua*), ketinggian geopotensial (*zg*), dan kelembaban spesifik (*hus*). Ketinggian (level) adalah 850 hPa, 500 hPa, dan 200 hPa.

Tabel 1 Variabel Prediktor yang diambil dari model luaran CSIRO-Mk3 dan pengkodean.

No	Variabel	Satuan	Ketinggian/level			
			Permukaan	850 hPa	500 hPa	200 hPa
1.	<i>Precipitable water</i>	Kg m ⁻²	Prw	-	-	-
2.	Tekanan permukaan laut	Pa	Slp	-	-	-
3.	Komponen angin meridional	m s ⁻¹	Vas	Va850	va500	va200
4.	Komponen angin zonal	m s ⁻¹	Uas	Ua850	ua500	ua200
5.	Ketinggian geopotensial	M	-	Zg850	zg500	zg200
6.	Kelembaban spesifik	Ltr	huss	hus850	Hus500	Hus200

Tahapan analisis data dalam penelitian ini yaitu :

1. Melakukan reduksi dimensi. Metode reduksi dimensi yaitu PCA. Berikut akan diuraikan langkah-langkah analisisnya:
 1. Anggap sekumpulan observasi x_j , dimana $j: 1,2,\dots,m$ pada input data \mathbf{R}^n .
 2. Untuk satuan variabel asal tidak sama, seringkali dilakukan pembakuan (*standardization*) dulu sebelum dibuat matriks varian-kovarian. Sehingga $\sum_{j=1}^n x_j = 0$.
 3. Membuat matrik Varian Kovariansi Σ .
 4. Menentukan nilai akar karakteristik (*eigen value*) dengan menghitung $|\Sigma - \lambda \mathbf{I}| = 0$.

5. Menentukan jumlah komponen utama yang dibangkitkan (dengan melihat nilai *eigen value*). Keragaman yang lebih dari 90% menunjukkan banyaknya komponen utama yang harus dibangkitkan.
6. Menghitung nilai komponen utama (*scores*) dari model komponen utama $Y_i = \mathbf{a}_i' \mathbf{X}$, dimana \mathbf{a}_i adalah eigenvektor.

4 PEMBAHASAN

4.1 Pra-pemrosesan Pemodelan *Statistical Downscaling*

Pra-pemrosesan pemodelan *Statistical Downscaling* (SD) adalah salah satu tahapan yang mengkaji luasan dan lokasi grid domain GCM yang optimum untuk penyusunan pemodelan SD. Pra-pemrosesan pemodelan SD berupa reduksi dimensi. Reduksi dimensi pada penelitian ini menggunakan metode PCA. Reduksi dimensi dilakukan pada variabel luaran GCM di setiap level, yaitu permukaan, 200 hPa, 500 hPa, dan 850 hPa serta dilakukan pada setiap domain. Pada setiap hasil reduksi (per level) diambil satu atau lebih komponen utama dengan keragaman lebih dari 90% sebagai variabel prediktor.

4.2 Hasil Reduksi Dimensi menggunakan Metode Principal Component Analysis (PCA)

Reduksi dimensi dengan metode PCA pada variabel HUSS ditunjukkan pada Tabel 2. Tabel 2 memberikan informasi kumulatif proporsi komponen utama variabel HUSS pada masing-masing grid.

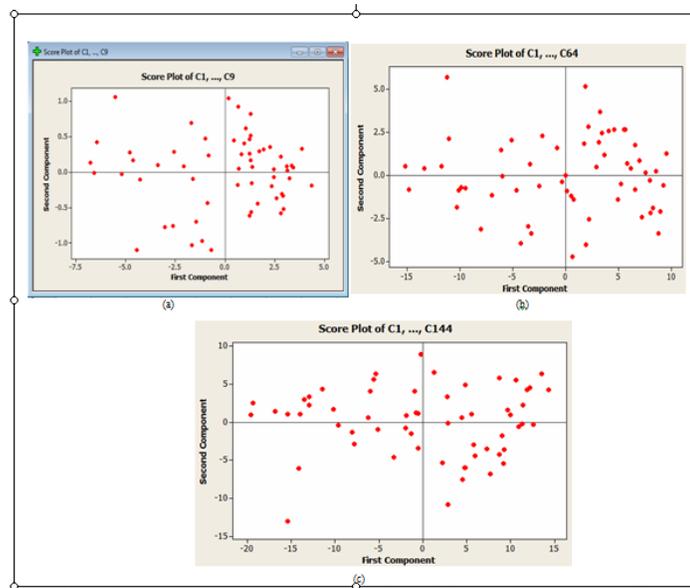
Tabel 2 Nilai Eigen dan Kumulatif Proporsi Metode PCA pada Variabel HUSS domain 3×3, 8×8, dan 12×12

Domain 3×3			Domain 8×8			Domain 12×12		
PC ke-	Nilai eigen	Kum	PC ke-	Nilai eigen	Kum	PC ke-	Nilai eigen	Kum
1	8.6422	0.960	1	48.435	0.757	1	90.514	0.629
2	0.2559	0.989	2	4.829	0.832	2	19.979	0.767
3	0.0583	0.995	3	2.490	0.871	3	8.176	0.824
4	0.0229	0.998	4	1.571	0.896	4	4.671	0.857
5	0.0093	0.999	5	1.194	0.914	5	3.215	0.879
6	0.0060	0.999	6	1.063	0.931	6	2.202	0.894
7	0.0031	1.000	7	0.914	0.945	7	1.698	0.906
8	0.0017	1.000	8	0.784	0.958	8	1.242	0.915
9	0.0006	1.000	9	0.582	0.964	9	1.11	0.922

Keterangan: Kum= Kumulatif proporsi keragaman

Tabel 2 memberikan informasi bahwa jumlah komponen utama yang mempunyai keragaman $\geq 90\%$ pada domain 3×3 , 8×8 dan 12×12 , masing-masing adalah 1, 5, dan 7. Hal ini menunjukkan semakin luas domain maka semakin banyak komponen utama (PC) yang dipakai dan sebaliknya. Situasi ini mungkin tidak berlaku bagi variabel luaran GCM yang lain. Variabel luaran GCM yang satu dengan yang lain memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Hal ini dimungkinkan karena setiap variabel luaran GCM memiliki level/ketinggian yang berbeda-beda pula.

Plot *scores* komponen utama variabel HUSS ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Plot *scores* variabel HUSS (a) Domain 3×3 , (b) Domain 8×8 , dan (c) Domain 12×12 .

Gambar 2 memperlihatkan plot komponen utama masing-masing domain. Domain 3×3 dan 12×12 cenderung memiliki bentuk plot yang hampir menumpuk pada satu sisi. Sedangkan domain 8×8 memiliki bentuk plot yang menyebar secara merata.

Reduksi dimensi dengan metode PCA pada berbagai variabel luaran GCM selain variabel HUSS, dapat dilakukan dengan cara yang sama dengan reduksi dimensi PCA pada variabel HUSS.

Tabel 3 memperlihatkan jumlah komponen utama dengan keragaman $\geq 90\%$ untuk setiap variabel luaran GCM pada domain 3×3 , 8×8 , dan 12×12 .

Tabel 3 Jumlah PC dan Kumulatif Proporsi dengan Metode PCA pada Berbagai Variabel Luaran GCM.

No.	Variabel	Domain 3×3		Domain 8×8		Domain 12×12	
		Jml PC	Kum	Jml PC	Kum	Jml PC	Kum
1	HUSS	1	0.960	5	0.915	7	0.906
2	HUS200	1	0.954	2	0.958	2	0.918
3	HUS500	1	0.958	2	0.924	3	0.926
4	HUS850	1	0.917	2	0.952	3	0.927
5	PRW	1	0.955	2	0.936	3	0.923
6	SLP	1	0.984	1	0.932	2	0.967
7	UA200	1	0.985	1	0.912	3	0.944
8	UA500	1	0.924	3	0.950	3	0.908
9	UA850	1	0.952	2	0.948	3	0.938
10	VAS	1	0.961	3	0.916	5	0.923
11	VA200	1	0.981	2	0.952	3	0.961
12	VA500	1	0.908	4	0.935	6	0.932
13	VA850	2	0.953	4	0.941	5	0.902
14	ZG200	1	0.995	1	0.963	1	0.921
15	ZG500	1	0.995	1	0.959	1	0.902
16	ZG850	1	0.980	1	0.935	1	0.900

Keterangan: Kum= Kumulatif proporsi keragaman

Total variabel prediktor yang dihasilkan dengan metode PCA pada domain 3×3 adalah 17 variabel, domain 8×8 adalah 36 variabel, dan domain 12×12 adalah 51 variabel. Dapat disimpulkan bahwa semakin luas domain maka semakin banyak komponen utama yang dipakai untuk memperoleh keragaman lebih dari 90%. Semakin sedikit jumlah komponen dan mempunyai persentase keragaman yang besar menunjukkan antar variabel (grid) memiliki hubungan sangat erat dan sebaliknya.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan didapatkan beberapa kesimpulan :
 Prosedur mendapatkan komponen utama (PC) pada metode PCA dengan total variabel prediktor yang dibangkitkan dengan metode PCA pada domain 3×3 adalah 17 variabel, pada domain 8×8 adalah 36 variabel, dan pada domain 12×12 adalah 51 variabel. Hal ini menunjukkan bahwa semakin luas domain maka semakin banyak komponen utama yang dipakai untuk memperoleh keragaman lebih dari 90%.

Saran

Beberapa saran yang dapat direkomendasikan dalam memperbaiki penelitian ini diantaranya:

1. Untuk mendapatkan reduksi variabel yang lebih baik perlu diperhatikan karakteristik dari data GCM.
2. Dapat dilanjutkan untuk memodelkan curah hujan di Ambon dengan menganalisis hubungan antara curah hujan bulanan dengan data luaran GCM.

Ucapan Terimakasih: Penelitian ini didukung dan dibiayai oleh DIPA UNPATTI, melalui Program Hibah Bersaing (Program Desentralisasi Universitas). Peneliti berterima kasih atas dukungan dana serta kepercayaan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khotimah, K, Sutikno, Otok, W.B (2009). “ Reduksi Dimensi Robust Dengan Estimator MCD Untuk Pra- Pemrosesan Data Pemodelan *Statistical Downscaling*”. Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika 8 Agustus 2009 UNESA . Surabaya.
- [2] Manorang Y, Sutikno, Setiawan, Otok WB, (2009). “Analisis Komponen Utama Kernel Untuk Pra Pemrosesan Pemodelan *Statistical Downscaling*”. Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika 8 Agustus 2009 UNESA . Surabaya.
- [3] Jolliffe, I.T. (1986). *Principal Component Analysis, Second Ed.* New York: Springer-Verlag.
- [4] Johnson, R.A and Wichern, D.W. (1998). *Applied Multivariate Statistical Analysis.* 5th Ed. New Jersey: Prentice Hall.
- [5] Sutikno. (2008). “*Statistical Downscaling Luaran GCM dan Pemanfaatannya untuk Peramalan Produksi Padi*” Disertasi. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- [6] Zorita, E. and von Storch, H., (1999): “The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated method”, *Journal of Climate*, 12, 2474-2489.

- [7] Wigena, A.H. (2006). “*Pemodelan Statistical Downscaling dengan Regresi Projection Pursuit untuk Peramalan Curah Hujan Bulanan*” Disertasi. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

PENJADWALAN KERETA API JALUR GANDA: MODEL JOB-SHOP DAN APLIKASINYA

Nur Aprianti Dwiyatcita, Farida Hanum, Toni Bakhtiar

Departemen Matematika FMIPA, Institut Pertanian Bogor
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

ABSTRAK

Penjadwalan perjalanan kereta api merupakan masalah yang kompleks dan tidak mudah diselesaikan mengingat banyaknya aturan dan batasan yang harus dipenuhi. Makalah ini membahas masalah penjadwalan kereta api jalur ganda. Pendekatan *job-shop modeling* digunakan untuk memformulasikan masalah penjadwalan dalam bentuk pemrograman linear bilangan bulat dengan tujuan meminimumkan total waktu tempuh maksimum. Model diaplikasikan pada masalah penjadwalan perjalanan kereta api MRT Lebak Bulus-Sisingamangaraja yang melibatkan 7 stasiun dan 18 kereta api berkelas ekonomi dan ekspres. Jadwal perjalanan dalam bentuk diagram ruang-waktu diberikan.

Katakunci: penjadwalan kereta api, jalur ganda, model *job-shop*.

1 PENDAHULUAN

Sarana transportasi yang aman, nyaman, dan cepat sangat dibutuhkan oleh masyarakat, khususnya yang memiliki mobilitas tinggi dalam kesehariannya. Fenomena ibukota sebagai pusat dari kegiatan perekonomian mencerminkan bahwa sudah selayaknya sistem transportasi yang ada minimal memenuhi ketiga standar tersebut. Salah satu alat transportasi darat yang dapat mengangkut massa dalam jumlah banyak, cepat, dan murah adalah kereta api.

Sistem penjadwalan kereta api yang optimal harus diperhatikan dalam menciptakan lalu lintas kereta api yang sesuai dengan aturan-aturan perkeretaapian. Sistem penjadwalan kereta api yang efektif dan efisien juga akan meminimalisasi terjadinya penumpukan penumpang di stasiun akibat adanya penundaan keberangkatan kereta api. Masalah penjadwalan kereta api merupakan hal yang tidak mudah diselesaikan terlebih pada jalur kereta api yang cukup kompleks. Terdapat banyak aturan atau batasan yang harus dipenuhi dalam memecahkan masalah ini. Salah satunya adalah bagaimana perjalanan suatu kereta api dapat berlangsung tanpa terjadi tumpang tindih dengan perjalanan kereta api yang lainnya. Masalah penjadwalan kereta api dapat dipandang sebagai implementasi masalah penjadwalan *job-shop* secara khusus; perjalanan-perjalanan kereta api dianggap sebagai sekumpulan

pekerjaan (*jobs*) yang dijadwalkan pada sekumpulan sumber daya (*resources*) yang berupa segmen-segmen jalur kereta api [1]. Dalam tulisan ini akan dibahas penyelesaian masalah penjadwalan kereta api menggunakan model penjadwalan *job-shop* dengan meminimumkan total waktu tempuh perjalanan. Pemodelan tersebut akan dilakukan pada kasus kereta api dengan jalur ganda.

2 Masalah Penjadwalan *Job-Shop*

Terdapat tiga istilah yang digunakan dalam pembahasan masalah penjadwalan. Ketiga istilah tersebut adalah pekerjaan (*job*), prosesor (*processor*), dan operasi (*operation*). *Pekerjaan* merupakan sekumpulan aktivitas yang harus diproses, misalnya pembuatan suatu barang pada pabrik manufaktur atau operasi bedah yang akan dilakukan di suatu rumah sakit. *Prosesor* adalah sumber daya yang digunakan untuk memproses pekerjaan, misalnya dapat berupa mesin atau alat-alat kedokteran. Prosesor juga disebut sebagai sumber daya (*resource*) atau mesin (*machine*). *Operasi* merupakan aktivitas pemrosesan dari suatu pekerjaan. Berdasarkan ketiga istilah tersebut, masalah penjadwalan dapat diartikan sebagai proses pengalokasian sumber daya untuk suatu operasi pada periode waktu tertentu [2]. Apabila terdapat dua atau lebih pekerjaan menggunakan prosesor yang sama pada saat yang sama pula, maka suatu jadwal belum disebut sebagai jadwal yang fisibel.

Representasi dari penjadwalan dalam suatu industri biasanya ditampilkan dengan menggunakan diagram *Gantt* [2]. Diagram tersebut memperlihatkan pemrosesan setiap pekerjaan pada sumber daya yang tersedia dalam bentuk balok-balok sepanjang waktu tertentu.

Masalah penjadwalan *job-shop* merupakan masalah pengalokasian sumber daya untuk setiap operasi yang diproses sesuai dengan urutan yang ditentukan. Hal ini dapat diartikan bahwa urutan operasi dari suatu pekerjaan dapat berbeda dengan pekerjaan yang lainnya, namun operasi-operasi tersebut diproses berdasarkan jadwal penggunaan mesin yang ditentukan. Apabila dilambangkan secara matematis, pada umumnya masalah penjadwalan *job-shop* memiliki karakteristik sebagai berikut [3]:

- terdapat sekumpulan n pekerjaan $J = \{J_1, J_2, J_3, \dots, J_n\}$,
- terdapat sekumpulan m sumber daya $M = \{M_1, M_2, M_3, \dots, M_m\}$,

- setiap pekerjaan memiliki sekumpulan operasi (I); pekerjaan ke- i (J_i) memiliki urutan operasi ($o_{i1}, o_{i2}, o_{i3}, \dots, o_{ik}$), dengan k merupakan banyaknya operasi yang dilakukan untuk pekerjaan i ,
- setiap sumber daya dapat beroperasi maksimum satu operasi dalam selang waktu tertentu,
- setiap operasi dari suatu pekerjaan di sebuah sumber daya membutuhkan sejumlah waktu minimum; waktu minimum pekerjaan ke- i beroperasi di sumber daya ke- j dilambangkan dengan p_{ij} , untuk $1 \leq i \leq n$ dan $1 \leq j \leq m$.

Tujuan dari penyelesaian masalah penjadwalan *job-shop* adalah menentukan jadwal suatu pekerjaan yang fisibel dengan mempertimbangkan urutan pemrosesan dan kapasitas dari setiap sumber daya. Salah satu kriteria optimasi pada masalah penjadwalan *job-shop* adalah meminimumkan waktu maksimum pemrosesan dari setiap pekerjaan (*makespan*) yang dilambangkan dengan C_{maks} [4].

3 MODEL

3.1 Asumsi dan Notasi

Masalah penjadwalan kereta api pada karya ilmiah ini akan dimodelkan dengan mempertimbangkan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- 1 model dibangun untuk kasus kereta api jalur ganda,
- 2 satuan waktu terkecil yang digunakan dalam penjadwalan adalah menit,
- 3 tidak ada urutan prioritas kereta api yang akan menggunakan petak blok yang sama.

Model penjadwalan kereta api pada karya ilmiah ini dirancang sebagai alat untuk merencanakan jadwal kereta api pada periode operasi tertentu. Jadwal yang akan dihasilkan merupakan jadwal faktual. Jadwal aktual akan sama dengan jadwal faktual apabila tidak terjadi gangguan operasional seperti pemadaman listrik, bencana alam yang mengakibatkan kerusakan infrastruktur, gangguan sinyal, dan lain sebagainya. Referensi utama yang digunakan penulis dalam memodelkan masalah penjadwalan kereta api jalur ganda adalah tulisan Higgins *et al.* (1996) di [5].

Notasi-notasi yang akan digunakan pada model penjadwalan kereta api sebagai kasus khusus dari masalah penjadwalan *job-shop* didefinisikan sebagai berikut: n = banyaknya kereta api, m = banyaknya petak blok, q = banyaknya stasiun, S = himpunan stasiun = $\{1, 2, \dots, q\}$, J = himpunan kereta api = $\{1, 2, \dots, n\}$, J_i = perjalanan kereta api i ($i = 1, 2, \dots, n$), o_{ik} = operasi di petak blok k ($k = 1, 2, \dots, m$), dari kereta api i , h = *time headway*, X_{ias} = waktu kedatangan kereta api i di stasiun s , X_{ids} = waktu keberangkatan kereta api i dari stasiun s , d_k = panjang petak blok k , v_{ik} = kecepatan rata-rata minimum kereta api i di petak blok ke- k , \bar{v}_{ik} = kecepatan rata-rata maksimum kereta api i di petak blok ke- k , p_{is} = lama waktu berhenti kereta api i di stasiun s , τ_{is} = waktu *delay* kereta api i di stasiun s , M = bilangan bulat positif besar, C_{maks} = waktu tempuh maksimum.

Didefinisikan variabel biner untuk beberapa kondisi antara dua kereta api yang akan terjadi konflik, yaitu $A_{ijk} = 1$ jika kereta api *outbound* i menggunakan petak blok k sebelum kereta api *outbound* i , dan $A_{ijk} = 0$ jika selainnya, serta $B_{ijk} = 1$ jika kereta api *inbound* i menggunakan petak blok k sebelum kereta api *inbound* i , dan $B_{ijk} = 0$ jika selainnya. Kereta api *outbound* merupakan jenis kereta api yang melakukan perjalanan dari stasiun ke-1 ke arah stasiun ke- q , sedangkan kereta api *inbound* merupakan jenis kereta api yang melakukan perjalanan dengan arah sebaliknya.

3.2 Fungsi Objektif

Tujuan penjadwalan kereta api pada karya ilmiah ini adalah meminimumkan total waktu tempuh maksimum. Hal ini dapat dihitung berdasarkan selisih antara waktu kedatangan di stasiun pertama dan waktu keberangkatan dari stasiun akhir kembali ke stasiun awal atau masuk ke dalam depo. Ditulis,

$$\min C_{max} = \sum_{i=1}^r (X_{idq} - X_{ia1}) + \sum_{i=r+1}^n (X_{id1} - X_{iaq}),$$

dengan X_{ia1} = waktu kedatangan kereta api i di stasiun ke-1, untuk $i = 1, 2, \dots, r$, X_{idq} = waktu keberangkatan kereta api i dari stasiun ke- q untuk kembali ke stasiun pertama atau masuk ke dalam depo, dengan $i = 1, 2, \dots, r$, X_{iaq} = waktu kedatangan kereta api i di stasiun ke- q , untuk

$i = r+1, r+2, \dots, n$, X_{id1} = waktu keberangkatan kereta api i dari stasiun ke-1 untuk kembali ke stasiun pertama atau masuk ke dalam depo, dengan $i = r+1, r+2, \dots, n$.

3.3 Fungsi Kendala

Kendala-kendala yang harus dipenuhi dalam rangka mendapatkan solusi jadwal kereta api yang fisibel ialah sebagai berikut:

Kendala 1 (Urutan Operasi)

$$X_{ias} + p_{is} + \tau_{is} = X_{ids}, \quad i \leq r, \quad s = 1, 2, \dots, q.$$

$$X_{ias} + p_{is} + \tau_{is} = X_{ids}, \quad i > r, \quad s = q, q-1, \dots, 1.$$

Kedua kendala di atas dikembangkan dari konsep masalah penjadwalan *job-shop*, yaitu operasi ke- $(k + 1)$ pada pekerjaan J_i hanya bisa dimulai setelah operasi ke- k telah selesai dikerjakan. Waktu dimulainya operasi $o_{i(k+1)}$ yaitu X_{ids} harus lebih dari atau sama dengan waktu dimulainya operasi o_{ik} yaitu X_{ias} ditambah lama waktu pemrosesannya yaitu p_{is} . Selain itu, terdapat variabel *delay* (τ_{is}) yang merupakan lama waktu penundaan dari suatu perjalanan kereta api i di stasiun s untuk menghindari konflik. Waktu tiba kereta api di stasiun pertama merupakan waktu tiba kereta api yang keluar dari depo atau waktu kembali dari stasiun tujuan akhir ke stasiun asal.

Kendala 2 (Aturan Penyusunan)

Dua kendala pertama digunakan apabila nilai $A_{ijk} = 0$, yaitu perjalanan kereta api J_j didahulukan, sehingga kereta api j tiba lebih awal dari kereta api i di stasiun berikutnya. Nilai h juga ditambahkan agar terdapat jarak antarkereta api ketika keluar dan masuk stasiun. Dua kendala berikutnya dapat dijelaskan dengan cara yang sama dengan nilai $A_{ijk} = 1$, yaitu kereta api i berangkat lebih dulu dari j .

$$MA_{ijk} + X_{ia(s+1)} \geq X_{ja(s+1)} + h, \quad i \neq j; \quad s = 1, 2, \dots, q-1; \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

$$MA_{ijk} + X_{ids} \geq X_{jds} + h, \quad i \neq j; \quad s = 1, 2, \dots, q-1; \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

$$M(1 - A_{ijk}) + X_{ja(s+1)} \geq X_{ia(s+1)} + h, \quad i \neq j; \quad s = 1, 2, \dots, q-1; \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

$$M(1 - A_{ijk}) + X_{jds} \geq X_{ids} + h, \quad i \neq j; \quad s = 1, 2, \dots, q-1; \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

Aturan penyusunan pada kereta api *inbound* juga dapat dijelaskan dengan cara yang sama seperti kereta api *outbound*. Aturan tersebut dinyatakan dalam kendala berikut:

$$MB_{ijk} + X_{ias} \geq X_{jas} + h, i \neq j; s = q-1, q-2, \dots, 1; k = m, m-1, \dots, 1.$$

$$MB_{ijk} + X_{id(s+1)} \geq X_{jd(s+1)} + h, i \neq j; s = q-1, q-2, \dots, 1; k = m, m-1, \dots, 1.$$

$$M(1-B_{ijk}) + X_{jas} \geq X_{ias} + h, i \neq j; s = q-1, q-2, \dots, 1; k = m, m-1, \dots, 1.$$

$$M(1-B_{ijk}) + X_{jd(s+1)} \geq X_{id(s+1)} + h, i \neq j; s = q-1, q-2, \dots, 1; k = m, m-1, \dots, 1.$$

Kendala 3 (Aturan Lama Waktu Beroperasi)

Waktu penggunaan sumber daya pada masalah penjadwalan *job-shop* secara umum diberikan sebagai input. Waktu tersebut pada masalah penjadwalan kereta api sama dengan jarak tempuh dibagi dengan kecepatan rata-ratanya. Waktu rata-rata minimum dan maksimum penggunaan suatu petak blok untuk kereta api *outbound* dan *inbound* diberikan oleh kendala-kendala berikut:

$$\frac{d_k}{v_{ik}} \leq X_{ia(s+1)} - X_{ids} \leq \frac{d_k}{\underline{v}_{ik}}, i = 1, 2, \dots, r, k = 1, 2, \dots, m, s = 1, 2, \dots, q-1.$$

$$\frac{d_k}{v_{ik}} \leq X_{ia(s)} - X_{id(s+1)} \leq \frac{d_k}{\underline{v}_{ik}}, i = r+1, r+2, \dots, n, k = m, m-1, \dots, 1, s = q-1, q-2, \dots, 1.$$

Kendala 4 (Stasiun Pemberhentian)

Kendala (22) menggambarkan bahwa apabila kereta api tidak berhenti di stasiun ke- s , maka waktu kedatangan dan keberangkatan kereta api tersebut di stasiun ke- s adalah sama. Selain itu, sebagai input, waktu tunggu di stasiun tersebut bernilai nol. Ditulis,

$$X_{ias} = X_{ids}, i \in J, s \in S.$$

Kendala 5 (Ketaknegatifan dan Biner)

Selain kendala-kendala yang telah dijelaskan sebelumnya, terdapat kendala ketaknegatifan dan kendala biner. Kedua kendala tersebut secara berturut-turut didefinisikan sebagai berikut,

$$h, p_{is}, X_{ias}, X_{ids} \geq 0, A_{ijk}, B_{ijk} \in \{0,1\}.$$

4 APLIKASI MODEL

Aplikasi model pada karya ilmiah ini akan diterapkan pada kasus kereta api jalur ganda MRT (*Mass Rapid Transit*) rute Lebak Bulus-Sisingamangaraja, dengan asumsi sebagai berikut:

- 1 banyaknya kereta api jenis *outbound* (Lebak Bulus-Sisingamangaraja) adalah 10 unit dan jenis *inbound* (Sisingamangaraja-Lebak Bulus) 8 unit,
- 2 waktu simulasi dimulai pada pukul 06.00 WIB,
- 3 simulasi penjadwalan pada setiap kereta api dilakukan untuk satu kali perjalanan,
- 4 terdapat dua jenis kereta api, yaitu MRT Ekonomi dan MRT Ekspres.

Ilustrasi perjalanan kereta api dapat dilihat pada Gambar 1. Terdapat tujuh stasiun, yaitu: Lebak Bulus (LB), Fatmawati (FA), Cipete Raya (CR), Haji Nawu (HN), Blok A (BA), Blok M (BM), dan Sisingamangaraja (SI). Stasiun Lebak Bulus memiliki delapan jalur dan stasiun Sisingamangaraja memiliki empat jalur. Kedua stasiun tersebut memiliki depo. Stasiun di antara Lebak Bulus dan Sisingamangaraja beserta enam petak blok yang menghubungkannya hanya memiliki dua jalur. MRT Ekonomi berhenti di setiap stasiun, sedangkan MRT Ekspres hanya berhenti di stasiun Lebak Bulus, Haji Nawu, dan Sisingamangaraja. Data kecepatan rata-rata MRT Ekonomi dan MRT Ekspres pada setiap petak blok antarstasiun diberikan pada Tabel 1. Kecepatan tersebut diperhitungkan berdasarkan jarak yang harus ditempuh pada setiap petak blok. Waktu kedatangan setiap kereta api di stasiun pertama sebagai nilai awal pada Tabel 2 dan lama waktu pemberhentian (p_{is}) kereta api di setiap stasiun pada Tabel 1. Gambar 2 merupakan diagram ruang-waktu rute Lebak Bulus ke Sisingamangaraja.

Tabel 1 Data simulasi dari perjalanan MRT Lebak Bulus-Sisingamangaraja

Indeks stasiun	Stasiun	Indeks Petak Blok (d_k)	Jarak antarstasiun (km)	Kecepatan minimum (km/jam)		Kecepatan maksimum (km/jam)		Waktu tempuh minimum (menit)		Waktu tempuh maksimum (menit)		Waktu tunggu di stasiun (menit)	
				MRT Eko.	MRT Eks.	MRT Eko.	MRT Eks.	MRT Eko.	MRT Eks.	MRT Eko.	MRT Eks.		
1	Lebak Bulus (LB)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3
2	Fatmawati (FA)	d_1	7.95	43.36	79.50	53.00	119.25	11	6	9	4	1	0
3	Cipete Raya (CR)	d_2	8.25	38.08	61.88	45.00	82.50	13	8	11	6	1	0
4	Haji Nawi (HN)	d_3	7.30	43.80	87.60	54.75	146.00	10	5	8	3	1	1
5	Blok A (BA)	d_4	5.25	35.00	78.75	45.00	157.50	9	4	7	2	1	0
6	Blok M (BM)	d_5	6.70	36.55	67.00	44.67	100.50	11	6	9	4	1	0
7	Sisingamangaraja (SI)	d_6	7.25	33.46	54.38	39.55	72.50	13	8	11	6	5	3

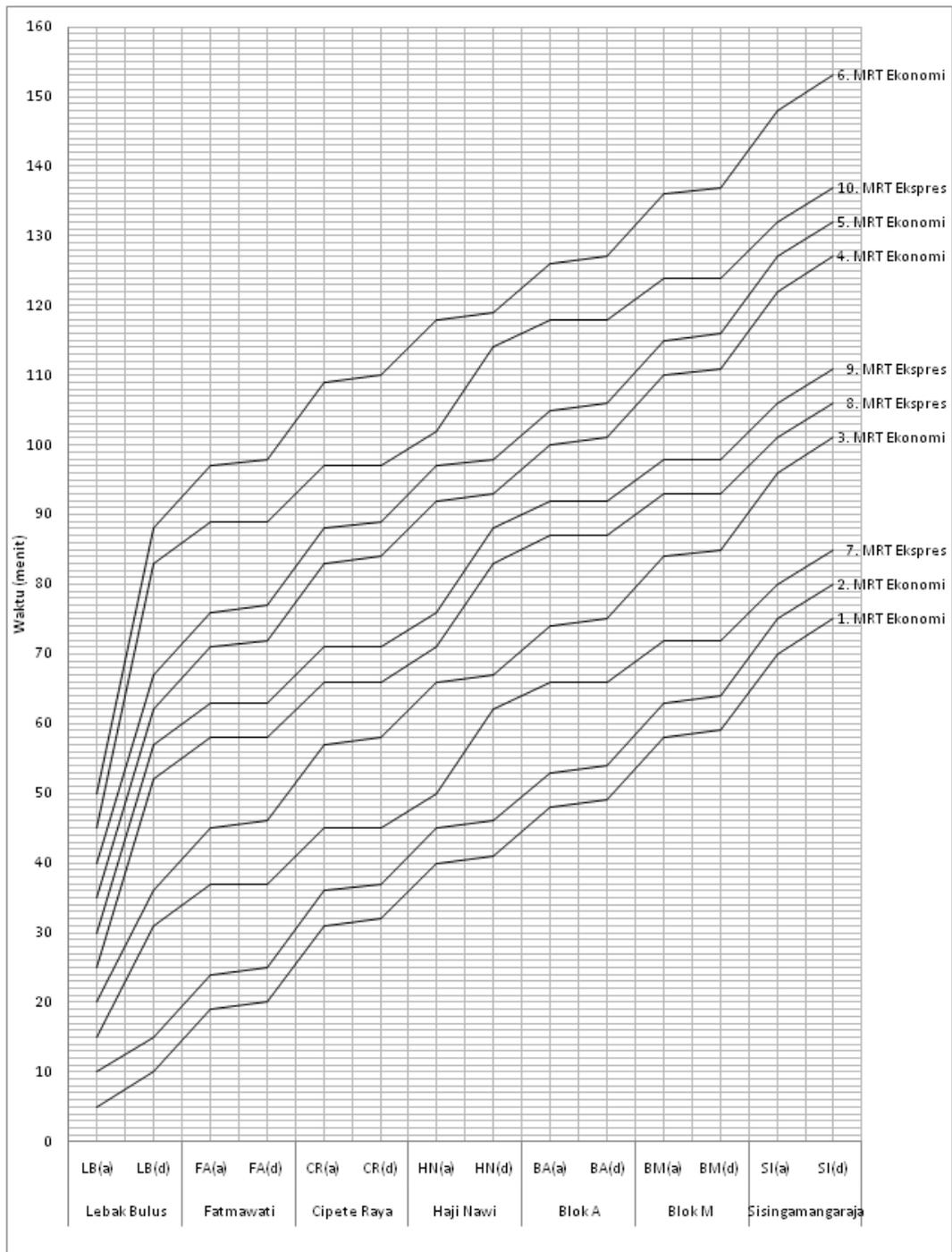
Keterangan: Eko. = MRT Ekonomi, Eks. = MRT Ekspres.



Gambar 1 Ilustrasi perjalanan MRT rute Lebak Bulus-Sisingamangaraja.

Tabel 2 Waktu kedatangan setiap MRT di stasiun pertama

Indeks MRT	Jenis MRT	Waktu Kedatangan (menit ke-)
1	MRT Ekonomi	5
2	MRT Ekonomi	10
3	MRT Ekonomi	20
4	MRT Ekonomi	35
5	MRT Ekonomi	40
6	MRT Ekonomi	50
7	MRT Ekspres	15
8	MRT Ekspres	25
9	MRT Ekspres	30
10	MRT Ekspres	45
11	MRT Ekonomi	5
12	MRT Ekonomi	15
13	MRT Ekonomi	20
14	MRT Ekonomi	30
15	MRT Ekonomi	40
16	MRT Ekspres	10
17	MRT Ekspres	25
18	MRT Ekspres	35



Gambar 2 Diagram ruang waktu dari simulasi penjadwalan MRT dari Lebak Bulus ke Sisingamangaraja yang sudah tidak mengandung konflik.

5 SIMPULAN DAN SARAN

Masalah penjadwalan kereta api merupakan kasus khusus dari masalah penjadwalan *job-shop*, sehingga model masalah penjadwalan kereta api dapat dibentuk dari konsep model masalah penjadwalan *job-shop*. Aturan-aturan umum yang berlaku pada masalah penjadwalan *job-shop* dapat dimodifikasi sesuai aturan-aturan umum yang berlaku pada kasus jalur ganda. Penyelesaian model dengan algoritme *branch and bound* menghasilkan solusi jadwal kereta api yang optimal, yakni tidak terjadinya konflik antarkereta api. Hal tersebut dibuktikan dengan simulasi yang dilakukan pada rute MRT Lebak Bulus-Sisingamangaraja menghasilkan jadwal kereta api yang tidak mengandung konflik. Waktu *delay* akibat akan terjadinya suatu konflik, dapat dikurangi dengan menambahkan kendala yang membatasi nilai *delay* tersebut.

Pemodelan dan simulasi penjadwalan kereta api sebaiknya dilakukan untuk perjalanan MRT secara keseluruhan. Selain itu, agar lebih aplikatif sebaiknya dibuat model penjadwalan MRT yang mempertimbangkan kapasitas MRT dalam mengangkut penumpang dan faktor lain yang bersifat aktual.

PUSTAKA

- [1] Oliveira E, Smith BM. 2000. A job-shop scheduling model for the single-track railway scheduling problem. *Technical Report* University of Leeds 21: 145-160.
- [2] Pham DN. 2008. Complex job shop scheduling: formulations, algorithms and a health care application [tesis]. Fribourg: Faculty of Economics and Social Sciences, University of Fribourg.
- [3] Shukla A. 2010. Single track train scheduling [tesis]. Bombay: Department of Computer Science and Engineering, Indian Institute of Technology.
- [4] Liu SQ, Kozan E. 2009. Scheduling trains as a blocking parallel-machine job shop scheduling problem. *Computers & Operations Research* 36: 2840-2852.
- [5] Higgins A, Kozan E, Ferreira L. 1996. Optimal scheduling of trains on a single line track. *Transportation Research* 30B (2): 147-161.

PENERAPAN PRINSIP MAKSIMUM PONTRYAGIN PADA SISTEM INVENTORI-PRODUKSI

Nurus Sa'adah, Toni Bakhtiar, Farida Hanum

Departemen Matematika FMIPA, Institut Pertanian Bogor
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

ABSTRAK

Pengendalian persediaan (inventori) merupakan kegiatan alami seperti halnya proses menyimpan makanan, pakaian, pena, kertas, dan barang-barang lainnya. Bagi perusahaan, pengendalian persediaan sangat diperlukan karena merupakan modal kerja dan berperan dalam menjamin ketersediaan barang untuk memenuhi permintaan pelanggan. Masalah inventori-produksi merupakan model dinamis (fungsi dari waktu) sehingga dapat disajikan sebagai masalah kontrol optimum. Tulisan ini membahas tentang kontrol optimum sistem inventori-produksi dengan mempertimbangkan kerusakan barang yang disimpan. Tingkat kerusakan barang diasumsikan mengikuti sebaran Weibull dua parameter. Pembahasan dalam tulisan ini meliputi dua kasus, yaitu sistem model kontinu dan diskret. Kondisi optimum untuk model kontinu diperoleh dengan menggunakan prinsip maksimum Pontryagin. Solusi yang didapatkan berupa persamaan diferensial orde dua yang kemudian diselesaikan secara numerik menggunakan metode beda hingga. Sistem inventori-produksi diskret diselesaikan dengan metode pengali Lagrange dengan solusi optimal diperoleh melalui penyelesaian persamaan beda secara rekursif.

1 PENDAHULUAN

Aplikasi teori kontrol optimum dalam masalah riset operasi merupakan area penelitian yang luas dan terbuka [1]. Salah satu yang menarik untuk dibahas adalah tentang perencanaan produksi. Setiap individu adalah pengendali persediaan (*inventory controller*), baik di rumah maupun dalam pekerjaan sebagaimana kebiasaan orang menyimpan makanan, pakaian, kertas, pena, dan barang-barang lainnya. Beberapa orang secara teratur membuang atau mengeluarkan isi lemari es karena berubah sifat. Jadi, pengendalian persediaan adalah kegiatan alamiah yang dilakukan setiap orang [2].

Lebih jauh lagi, sebuah perusahaan yang berorientasi pada keuntungan (*profit oriented*) harus melakukan pengendalian persediaan sebagai salah satu aktiva penting di dalam perusahaan dan menjadi salah satu modal kerja perusahaan. Tingkat

persediaan akan memengaruhi ketersediaan barang yang siap dijual untuk melayani pelanggan (*customer*). Dalam suatu persediaan, bila mencapai waktu tertentu barang akan rusak. Dengan menyesuaikan data empirik terhadap sebaran matematis, para peneliti menggunakan sebaran Weibull untuk memodelkan laju kerusakan barang. Beberapa contoh barang yang laju kerusakannya menyebar Weibull antara lain produk makanan, film kamera, obat-obatan, bahan kimia, komponen elektronik, dan sebagainya.

Dalam tulisan ini masalah sistem inventori-produksi dimodelkan dalam bentuk masalah kontrol optimum dan diselesaikan dengan prinsip maksimum Pontryagin untuk masalah kontinu dan metode pengali Lagrange untuk masalah diskret dengan mempertimbangkan laju kerusakan barang yang menyebar Weibull.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Masalah Kontrol Optimum

Masalah kontrol optimum adalah masalah memilih peubah kontrol di antara semua peubah kontrol yang *admissible*, yaitu kontrol yang membawa sistem dari *state* awal pada waktu awal kepada *state* akhir pada waktu akhir, sedemikian sehingga memberikan nilai maksimum atau minimum untuk fungsional objektif [3].

Misalkan diberikan sistem dinamik dalam bentuk sistem persamaan diferensial

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t) \quad (1)$$

untuk model kontinu atau dalam bentuk sistem persamaan beda

$$x(k + 1) = f(x(k), u(k), k) \quad (2)$$

untuk model diskret dengan x adalah variabel *state* dan u variabel kontrol. Sistem dinamik dapat berbentuk linear atau taklinear, mandiri (*autonomous*) atau takmandiri (*non-autonomous*), deterministik atau stokastik.

Misalkan U menyatakan himpunan dari semua fungsi yang kontinu sesepenggal (*piecewise*). Masalah kontrol optimum adalah menentukan fungsi kontrol u di antara fungsi *admissible* u yang membawa sistem dari *state* awal x_0 kepada *state* akhir x_T pada waktu $[t_0, T]$ melalui sistem (1) atau (2) sehingga mengoptimalkan fungsional objektif tertentu. Masalah kontrol optimum kontinu adalah masalah memaksimalkan fungsional objektif

$$\max_{u(t) \in U} J[u(t)] = S[x(T), T] + \int_{t_0}^T f_0(x, u, t) dt$$

dengan f_0 adalah suatu fungsi yang diberikan dan $S[x(T), T]$ merupakan fungsi *scrap* (fungsi yang menggambarkan keadaan sistem di waktu akhir) terhadap kendala

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t)$$

$$x(t_0) = x_0$$

$$x(T) = x_T.$$

Masalah kontrol optimum diskret adalah masalah memaksimumkan fungsional objektif

$$\max_{u(k)} \sum_{k=0}^{T-1} F(x(k), u(k), k)$$

terhadap kendala

$$x(k+1) - x(k) = f(x(k), u(k), k)$$

$$x(k_0) = x_0$$

$$x(T) = x_T.$$

Kendala pertama merupakan persamaan beda yang menyatakan perubahan pada peubah keadaan dari waktu k ke $k+1$, $k = 0, 1, 2, \dots, T-1$.

2.2 Prinsip Maksimum Pontryagin

Syarat perlu tercapainya kondisi optimum bagi MKOK diperoleh dengan menerapkan prinsip maksimum Pontryagin.

Teorema 1 Misalkan u sebagai kontrol admissible yang membawa state awal $(x(t_0), t_0)$ kepada state terminal $(x(T), T)$ dengan $x(T)$ dan T secara umum tidak ditentukan. Syarat perlu agar (x^*, u^*) menjadi solusi optimum adalah terdapat vektor p^* sedemikian rupa sehingga:

1. p^* dan x^* merupakan solusi dari sistem kanonik:

$$\dot{x}^* = \frac{\partial H}{\partial p}(x^*, u^*, p^*, t)$$

$$\dot{p}^* = -\frac{\partial H}{\partial x}(x^*, u^*, p^*, t)$$

dengan fungsi hamilton H diberikan oleh

$$H(x, u, p, t) = f_0(x, u, t) + pf(x, u, t).$$

$$2. H(x^*, u^*, p^*, t) \geq H(x, u, p, t).$$

3. Semua syarat batas terpenuhi.

[3]

2.3 Metode Pengali Lagrange

Syarat perlu tercapainya kondisi optimum bagi masalah kontrol optimum diskret diperoleh dengan menerapkan metode pengali Lagrange. Didefinisikan fungsi lagrange

$$L = \sum_{k=0}^{T-1} \{F(x(k), u(k), k) + \lambda(k+1)[x(k) + f(x(k), u(k), k) - x(k+1)]\},$$

dengan $\lambda(k+1)$ adalah pengali Lagrange yang berhubungan dengan persamaan beda dari kendala pertama. Syarat perlu agar (x^*, u^*) menjadi solusi optimal ialah:

1. $\nabla_{u(k)} L = \nabla_{u(k)} F + \lambda(k+1) \nabla_{u(k)} f = 0$
2. $\nabla_{x(k)} L = \nabla_{x(k)} F + \lambda(k+1)[1 + \nabla_{x(k)} f] - \lambda(k) = 0$
3. $\nabla_{\lambda(k+1)} L = x(k) + f - x(k+1) = 0$
4. $\frac{\partial L}{\partial x(N)} = -\lambda(N) = 0$.

Syarat terakhir diperlukan jika *state* akhir bebas [4].

3 PEMBAHASAN

3.1 Asumsi dan Notasi

Tulisan ini membahas sistem inventori-produksi model kontinu dan diskret. Pada model kontinu, inventori dimonitor secara kontinu dan proses produksi dapat dimulai pada setiap waktu. Sebaliknya, pada model diskret, inventori dimonitor pada titik-titik waktu tertentu.

Asumsi yang digunakan dalam model pada karya ilmiah ini ialah:

1. Perusahaan telah menetapkan tingkat persediaan yang diinginkan (*inventory goal level*) yang merupakan banyaknya barang yang ingin disimpan oleh perusahaan.
2. Perusahaan telah menetapkan tingkat produksi yang diinginkan (*production goal level*) yang merupakan banyaknya barang yang ingin diproduksi oleh perusahaan secara efektif.

3. Penalti dikenakan ketika tingkat persediaan dan tingkat produksi menyimpang dari level yang diinginkan.
4. Seluruh permintaan dapat dipenuhi oleh perusahaan.

Didefinisikan notasi-notasi sebagai berikut: T : panjang horizon perencanaan, I : tingkat persediaan, P : tingkat produksi, D : tingkat permintaan, I_0 : tingkat persediaan awal, θ : tingkat kerusakan barang, h : biaya penalti inventori (rupiah/unit), K : biaya penalti produksi (rupiah/unit), \hat{I} : tingkat persediaan yang diinginkan, dan $\hat{P}(t)$: tingkat produksi yang diinginkan.

3.2 Model Inventori-Produksi Kontinu

Didefinisikan fungsional objektif

$$J = - \int_0^T \left\{ \frac{1}{2} h \Delta^2 I + \frac{1}{2} K \Delta^2 P \right\} dt, \quad (3)$$

dengan $\Delta I(t) = I(t) - \hat{I}$ dan $\Delta P(t) = P(t) - \hat{P}$. Fungsional objektif di atas mengukur besarnya biaya penalti yang dikenakan ketika tingkat inventori dan tingkat produksi menyimpang dari *goal level*. Nilai 1/2 menunjukkan bahwa bobot yang menyatakan tingkat kepentingan dari biaya-biaya penalti adalah sama. Model yang digunakan dalam tulisan ini diambil dari Al-Khedhairi dan Tadj (2007) di [5].

Masalah kontrol optimum kontinu dengan demikian adalah masalah meminimumkan fungsional objektif (3) dengan kendala-kendala sebagai berikut:

1. Perubahan tingkat persediaan:

$$\dot{I}(t) = P(t) - D(t) - \theta(t)I(t). \quad (4)$$

Diasumsikan kerusakan barang mengikuti sebaran Weibull dengan laju kerusakan $\theta(t) = \alpha\beta t^{\beta-1}$.

2. Kendala ketaknegatifan: $P(t) \geq 0$.
3. Nilai awal dan akhir ditetapkan: $I(0) = I_0$ dan $I(T) = I_T$.

3.3 Solusi Analitik

Karena diasumsikan bahwa seluruh permintaan dapat dipenuhi oleh perusahaan, maka tingkat produksi yang diinginkan \hat{P} merupakan jumlah dari barang yang rusak dan tingkat permintaan pasar

$$\hat{P}(t) = \alpha\beta t^{\beta-1}\hat{I} + D(t).$$

Dengan mendefinisikan λ sebagai variabel adjoin, fungsi hamilton dituliskan sebagai

$$H = -\frac{1}{2}\{h\Delta^2 I + K\Delta^2 P\} + \lambda [P - D - \alpha\beta t^{\beta-1}I],$$

sehingga diperoleh syarat perlu berupa:

$$\frac{\partial H}{\partial P} = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial I} = -\dot{\lambda}, \quad \frac{\partial H}{\partial \lambda} = \dot{I}$$

yang masing-masing dapat dituliskan

$$P = \hat{P} + \frac{\lambda}{K} \tag{5}$$

$$\dot{\lambda} = h(I - \hat{I}) - \lambda\alpha\beta t^{\beta-1} \tag{6}$$

dan persamaan (4). Dengan menyubstitusi persamaan (5) ke dalam persamaan (4) didapatkan:

$$\dot{I} = \hat{P} + \frac{\lambda}{K} - D - \alpha\beta t^{\beta-1}I \tag{7}$$

dan dari persamaan (7) di atas didapatkan

$$\frac{\lambda}{K} = \dot{I} + \alpha\beta t^{\beta-1}I - \hat{P} + D \tag{8}$$

Jika (7) didiferensialkan terhadap t didapatkan

$$\ddot{I} = -\alpha\beta(\beta - 1)t^{\beta-2}I - \alpha\beta t^{\beta-1}\dot{I} + \frac{\dot{\lambda}}{K} + \dot{\hat{P}} - \dot{D} \tag{9}$$

Kemudian, dengan menyubstitusi persamaan (6) ke dalam persamaan (9), didapatkan

$$\ddot{I} = -\alpha\beta(\beta - 1)t^{\beta-2}I + \alpha\beta t^{\beta-1} \left[\frac{\lambda}{K} - \dot{I} \right] + \frac{h}{K} [I - \hat{I}] + \dot{\hat{P}} - \dot{D} \tag{10}$$

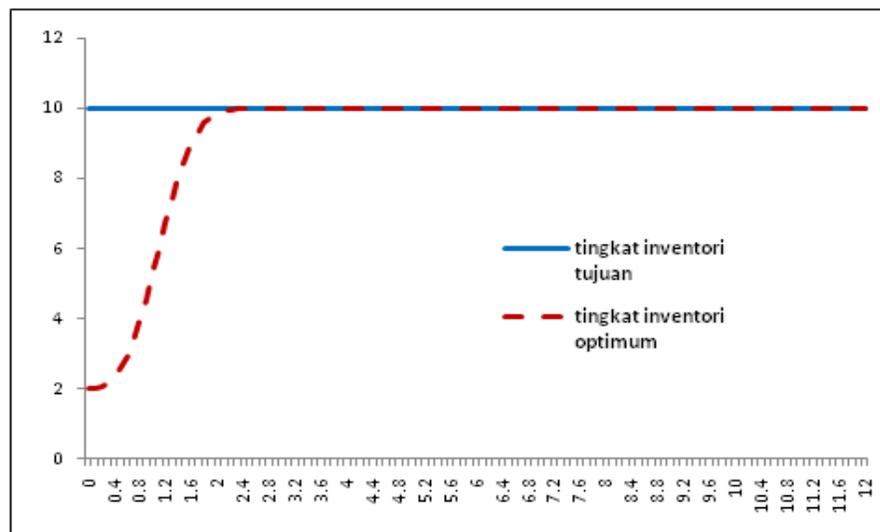
Terakhir, dengan menyubstitusi persamaan (8) ke dalam persamaan (10), didapatkan persamaan diferensial orde dua berikut

$$\ddot{I} - \left[\frac{h}{K} - \alpha\beta(\beta - 1)t^{\beta-2} + (\alpha\beta t^{\beta-1})^2 \right] I = \alpha\beta t^{\beta-1} [D - \hat{P}] - \frac{h}{K} \hat{I} + \dot{\hat{P}} - \dot{D}. \tag{11}$$

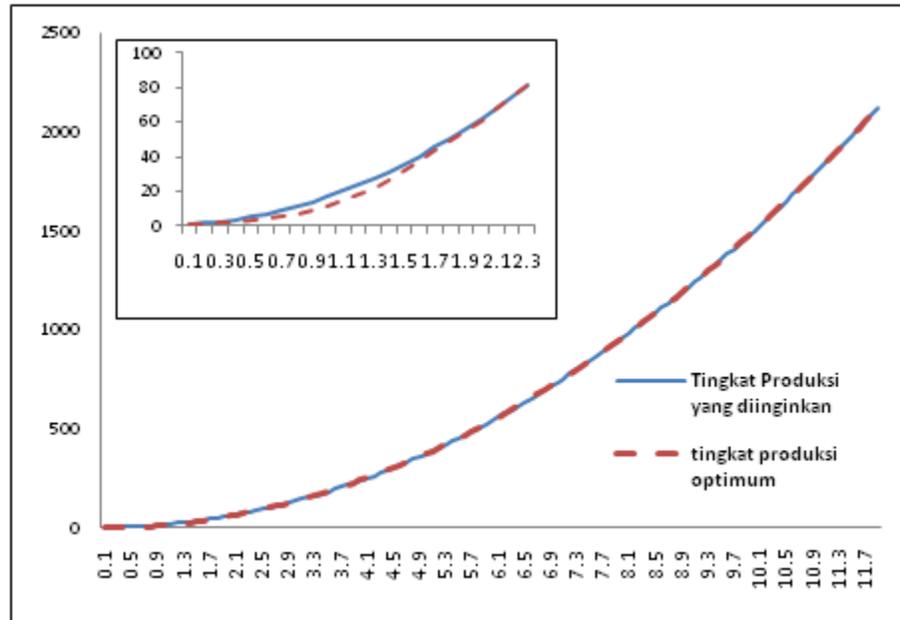
Dengan menerapkan nilai awal $I(0) = I_0$ dan nilai batas $I(T) = I_T$ akan didapatkan solusi optimum yang nilainya bergantung pada bentuk fungsi tingkat permintaan yang dihadapi perusahaan.

3.4 Simulasi Model Kontinu

Pengendalian inventori-produksi model kontinu diilustrasikan dengan mengambil nilai-nilai parameter berikut: $T = 12$, $I_0 = 2$, $I_T = 10$, $h = 1$, $K = 20$, $\alpha = 0.5$, $\beta = 3$, $\hat{I} = 10$, $D(t) = 1 + \sin t$. Persamaan (11) merupakan persamaan diferensial dengan koefisien dan suku variabel, dan diselesaikan dengan metode beda hingga. Tingkat inventori dan produksi optimum diberikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1 Tingkat inventori optimum dan tingkat inventori tujuan untuk simulasi model kontinu.



Gambar 2 Tingkat produksi optimum dan tingkat produksi tujuan untuk simulasi model kontinu.

3.5 Model Inventori-Produksi Diskret

Misalkan waktu perencanaan dibagi menjadi N selang yang sama panjang. Perubahan tingkat persediaan dinyatakan dalam persamaan beda

$$\frac{I(k+1) - I(k)}{T_s} = P(k) - D(k) - \alpha\beta k^{\beta-1}I(k) \quad (12)$$

dengan T_s adalah panjang subinterval. Dengan menyusun ulang persamaan (12) diperoleh

$$I(k+1) = [1 - T_s\alpha\beta k^{\beta-1}]I(k) + T_s[P(k) - D(k)] \quad (13)$$

Jika \hat{I} dan \hat{P} memenuhi (13) maka didapatkan

$$\hat{I} = [1 - T_s\alpha\beta k^{\beta-1}]\hat{I} + T_s[\hat{P}(k) - D(k)] \quad (14)$$

Didefinisikan operator Δ sebagai berikut: $\Delta I(k) = I(k) - \hat{I}$, dan $\Delta P = P(k) - \hat{P}$. Jika persamaan (13) dikurangi dengan persamaan (14) didapatkan

$$\Delta I(k+1) = a(k)\Delta I(k) + T_s\Delta P(k) \quad (15)$$

dengan $a(k) = 1 - T_s\alpha\beta k^{\beta-1}$.

Masalah kontrol optimum diskret ialah meminimumkan fungsional objektif

$$\min J = \frac{1}{2} \sum_0^N [h\Delta^2 I(k) + K\Delta^2 P(k)]. \quad (13)$$

dengan kendala $P(k) \geq 0$, $I(0) = I_0$, $I(T) = I_T$, dan persamaan (15).

3.6 Solusi Numerik

Didefinisikan pengali Lagrange $\lambda(k)$ dengan fungsi lagrange:

$$L = \frac{1}{2} \sum_0^{N-1} \{h\Delta^2 I(k) + K\Delta^2 P(k)\} + \lambda(k+1)[- \Delta I(k+1 + a(k)\Delta I(k) + T_s \Delta P(k)] \quad (17)$$

sehingga diperoleh syarat perlu:

$$\nabla_{\Delta P(k)} L = 0, \quad \nabla_{\Delta I(k)} L = 0, \quad \nabla_{\lambda(k+1)} L = 0,$$

yang masing-masing setara dengan:

$$\Delta P(k) = -\frac{T_s}{K} \lambda(k+1) \quad (18)$$

$$\lambda(k) = h\Delta I(k) + a(k)\lambda(k+1) \quad (19)$$

dan persamaan (3.15). Untuk mendapatkan solusi optimum, digunakan metode *sweep* [6]. Untuk $k = 0, \dots, N$, dinotasikan $s(k)$ sehingga

$$\lambda(k) = s(k)\Delta I(k). \quad (20)$$

Dengan menyubstitusi persamaan (20) ke dalam persamaan (18) didapatkan

$$\Delta P(k) = -\frac{T_s}{K} s(k+1)\Delta I(k+1). \quad (21)$$

Kemudian, dengan menyubstitusikan (15) ke dalam (21) didapatkan

$$\Delta P(k) = -\frac{T_s}{K} s(k+1)[a(k)\Delta I(k) - T_s \Delta P(k)] \quad (22)$$

Dengan menyelesaikan persamaan (22) didapatkan

$$\Delta P(k) = \frac{T_s a(k) s(k+1)}{K + T_s^2 s(k+1)} \Delta I(k). \quad (23)$$

Substitusi (20) ke dalam (19) menghasilkan

$$s(k)\Delta I(k) = h\Delta I(k) + a(k)s(k+1)\Delta I(k+1) \quad (24)$$

Dengan menyubstitusikan (15) ke dalam (24) didapatkan juga

$$s(k)\Delta I(k) = [h + a(k)^2 s(k+1)]\Delta I(k) + T_s a(k)s(k+1)\Delta P(k) \quad (25)$$

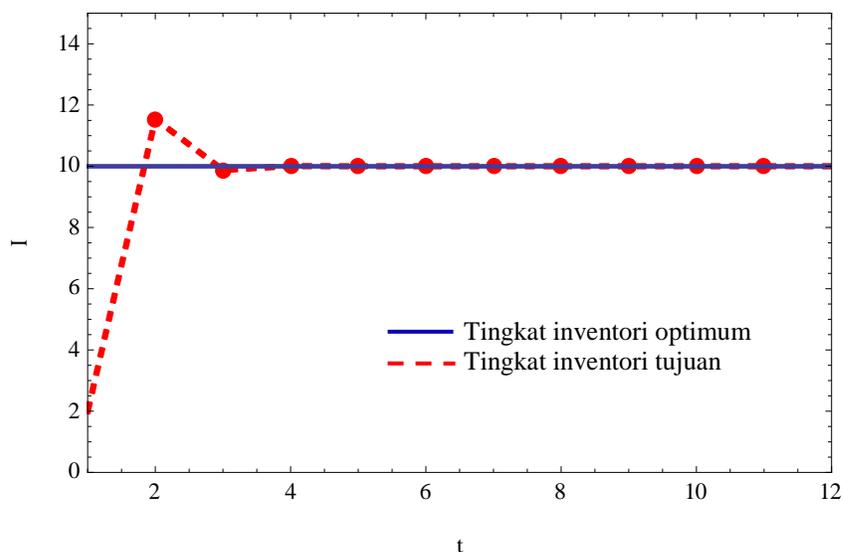
dan menyubstitusikan (23) ke dalam (25) diperoleh persamaan Ricatti

$$s(k) = h + \frac{Ks(k+1)}{K + T_s^2 s(k+1)} a(k)^2 \quad (26)$$

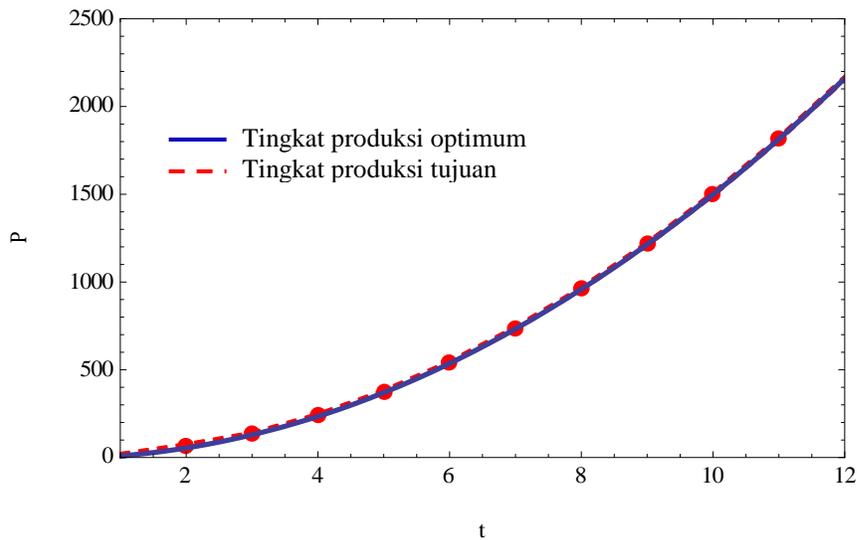
yang dapat diselesaikan secara rekursif mundur, dimulai dari $s(N) = h$. Tingkat inventori optimum dapat diperoleh dengan menyubstitusikan (23) ke dalam (15). Tingkat produksi optimum dapat ditentukan dari (16).

3.4 Simulasi Model Diskret

Gambar 3 dan Gambar 4 diperoleh dengan memilih Misalkan $T = 12$, $N = 12$, $I_0 = 2$, $I(T) = 10$, $h = 1$, $K = 20$, $D(k) = 1 + \sin k$, $\alpha = 0.5$, $\beta = 3$, $\hat{I} = 10$. $N = 12$ menunjukkan bahwa perusahaan memonitor proses produksi setiap bulan, sehingga panjang subinterval $T_s = 1$.



Gambar 3 Tingkat inventori optimum dan tingkat inventori tujuan untuk simulasi model diskret.



Gambar 4 Tingkat produksi optimum dan tingkat produksi tujuan untuk simulasi model diskret.

4 SIMPULAN

Berdasarkan kajian model dan hasil simulasi, maka dapat disimpulkan bahwa: (i) sistem inventori-produksi dapat diformulasikan sebagai masalah kontrol optimum, (ii) sistem inventori-produksi kontinu dapat diselesaikan dengan menggunakan prinsip maksimum Pontryagin; solusi dari sistem inventori-produksi ini berupa persamaan diferensial orde dua. Sedangkan sistem inventori-produksi diskret diselesaikan dengan menggunakan metode pengali Lagrange; solusi optimal diperoleh dengan menyelesaikan persamaan beda secara rekursif, (iii) hasil simulasi memperlihatkan bahwa solusi optimum konvergen menuju nilai yang diinginkan.

PUSTAKA

- [1] Sethi SP, Thompson GL. 2000. *Optimal Control Theory: Applications to Management Science and Economics*: 2nd ed. New York: Springer
- [2] Wild T. 2002. *Best Practice in Inventory Management: 2nd edition*. Britain: Butterworth-Heinemann.
- [3] Tu PNV. 1993. *Introductory Optimization Dynamics: Optimum Control with Economics and Management Applications*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

- [4] Conrad JM, Clark CW. 1987. *Natural Resource Economics*. New York: Cambridge University Press.
- [5] Al-Khedhairi A, Tadj L. 2007. Optimal control of a production inventory system with Weibull distributed deterioration. *Applied Mathematical Sciences* 35: 1703-1714.
- [6] Bryson AE, Ho YC. 1975. *Applied Optimal Control*. Washington DC: Halsted Press.

DAFTAR LENGKAP KATAKODE GEH DENGAN BOBOT LEE MINIMUM ATAS RING GALOIS $GR(4, M)$

Muhammad Ilyas^{1*}, Mieko Yamada², Edy Tri Baskoro³

Departemen Matematika, Institut Pertanian Bogor^{1*}

(reiken7@gmail.com)

Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, Japan²

Departemen Matematika, Institut Teknologi Bandung³

ABSTRAK

Dalam tulisan ini, diperkenalkan kode generalized extended Hamming (yang disingkat kode GEH) atas ring Galois dengan karakteristik 2^n . Selanjutnya dijelaskan sifat dari kode tersebut beserta katakode yang memiliki bobot Lee minimum. Hasil utama dari tulisan ini adalah kon- struksi daftar lengkap bentuk katakode dengan bobot Lee minimum atas $GR(4, m)$.

Kata kunci : generalized extended Hamming codes, kode atas ring Galois, bobot Lee.

1 PENDAHULUAN

Kode Preparata pertama kali diperkenalkan oleh Franco P. Preparata pada tahun 1968. Kode Preparata adalah kode nonlinier dan memiliki katakode lebih banyak daripada kode linier dengan ukuran setara yang telah dikenal. Kode Preparata asli merupakan kode biner yang nonlinier.

Selanjutnya, dalam makalah Hammons dkk. [1] menamakan kode GEH mereka sebagai kode Preparata atas ring Galois $GR(4, m)$ karena hasil pemetaan biner oleh peta Gray memiliki sifat yang sama dengan kode Preparata asli atas lapangan berhingga. Pada makalah tersebut juga ditunjukkan bahwa kode Preparata ini adalah "dual" dari kode Kerdock atas ring Galois ini, dalam arti walaupun kode tersebut nonlinier, distribusi bobotnya saling berhubungan dengan transformasi MacWilliams.

Dalam penelitian ini, didefinisikan kode GEH atas ring Galois dengan karakteristik 2^n . Sifat kode diperoleh dengan transformasi beberapa katakode dari karakteristik yang lebih rendah. Dengan menggunakan representasi 2-adic, bisa didapatkan katakode dengan bobot Lee minimum dari transformasi katakode yang memiliki bobot Lee minimum atas ring Galois pada karakteristik yang lebih rendah. Metode ini dapat digunakan secara rekursif untuk mendapatkan bobot Lee minimum dari kode GEH untuk karakteristik umum 2^n .

2 RING GALOIS

2.1 Ring Galois $GR(q, m)$

Ring Galois dibentuk dari sebuah solusi polinomial dasar tak-tereduksi. Misalkan $q = 2^n$ dan $Z_q = Z/qZ$, dengan Z_q adalah ring quotient dari Z modulo qZ dan $N = 2^m - 1$.

Misalkan $h_2(X) \in \mathbb{Z}_2[X]$ adalah sebuah polinomial dasar. Terdapat sebuah polinomial tak-tereduksi yang unik $h_q(X) \in \mathbb{Z}_q[X]$ dengan derajat m sedemikian sehingga $h_q(X) \equiv h_2(X) \pmod{2}$ dan $h_q(X)$ membagi $X^N - 1 \in \mathbb{Z}_q(X)$. Polinomial $h_q(X)$ disebut suatu polinomial dasar tak-tereduksi.

Definisi 1 (Ring Galois). Misalkan ξ adalah akar dari $h_q(X)$, sehingga $\xi^N = 1$. **Ring Galois** $GR(q, m)$ didefinisikan sebagai $\mathbb{Z}_q[x]/h_q(x)$ dan isomorfik dengan $\mathbb{Z}_q[\xi]$. Untuk selanjutnya $R = GR(q, m)$.

Dengan ring Galois $GR(q, m)$, setiap elemen $c \in R$ dapat dituliskan sebagai representasi 2-adic yang unik.

$$c = a_0 + 2a_1 + 4a_2 + \dots + \frac{q}{2}a_{n-1}$$

dengan $a_i \in \{0, 1, \xi, \xi^2, \dots, \xi^{N-1}\} [1]$.

Perhatikan bahwa R memuat pembagi nol, yaitu elemen yang memiliki bentuk $2GR(q, m) = 2GR(\frac{q}{2}, m)$, maksimal ideal atas R .

2.2 Automorfisme Frobenius pada $GR(4, m)$

Pada bagian ini, didefinisikan pemetaan Frobenius atas $GR(4, m)$, yang merupakan sebuah automorfisme ring. Pemetaan ini digunakan untuk transformasi katakode dari karakteristik 2 ke karakteristik 4.

Definisi 2 (Automorfisme Frobenius atas $GR(4, m)$). **Automorfisme Frobenius** f dari $GR(4, m)$ ke \mathbb{F}_{2^m} didefinisikan sebagai

$$c^f = a_0^2 + 2a_1^2. \quad (1)$$

untuk setiap elemen $c \in GR(4, m)$ dan $a_i \in \{0, 1, \xi, \xi^2, \dots, \xi^{N-1}\}$.

3 Kode atas $GR(q, m)$

3.1 Kode atas $GR(q, m)$ dan bobot minimum

Didefinisikan kode atas \mathbb{Z}_q sama halnya dengan definisi dari kode atas lapangan berhingga.

Definisi 3 (Kode atas $GR(q, m)$). Jika C adalah subgrup dibawah operasi penjumlahan dari \mathbb{Z}_q^m , maka C disebut **blok kode linier** dengan panjang m pada \mathbb{Z}_q .

Kode Reed-Muller merupakan salah satu contoh kode yang dapat dibangun dari ring Galois. Selain itu, banyak pula jenis kode lain yang merupakan kasus khusus dari kode Reed-Muller, seperti misalnya kode Hadamard, kode Walsh-Hadamard dan kode Reed-Solomon. Berikutnya akan diberikan definisi dari bobot Hamming dan bobot Lee, dengan $\mathbf{c} = (c_0, c_1, \dots, c_{N-1}) \in \mathbb{Z}_q^N$ adalah katakode dari C .

Definisi 4 (Bobot Hamming). *Banyaknya entri tak nol dari katakode c disebut **bobot Hamming** $w_H(c)$ dan **bobot Hamming minimum** didefinisikan sebagai*

$$w_H^m(P) = \min_{c \in P, c \neq 0} w_H(c).$$

Definisi 5 (Bobot Lee). ***Bobot Lee** $w_L(c)$ dari katakode c didefinisikan sebagai*

$$w_L(c) = \sum_{i=0}^{N-1} \min \{c_i, 2^n - c_i\}.$$

*dan **bobot Lee minimum** didefinisikan sebagai*

$$w_L^m(P) = \min_{c \in P, c \neq 0} w_L(c).$$

3.2 Kode GEH

Dalam bidang telekomunikasi, kode Hamming adalah kode pengoreksi kesalahan linier yang diberi nama sesuai penemunya, Richard Hamming (1915 - 1998). Kode Hamming dapat mendeteksi mencapai dua bit kesalahan simultan dan memperbaiki satu bit kesalahan. Kode Hamming merupakan salah satu kelas dari kode biner linier. Untuk setiap bilangan bulat $m \geq 2$, terdapat sebuah kode dengan m bit paritas dan $2^m - m - 1$ bit data. Selain itu, kode Hamming adalah kode pengoreksi satu kesalahan yang sempurna [2].

Terdapat sebuah teknik untuk memperpanjang suatu kode yang akan menghasilkan suatu kode baru dengan kemampuan koreksi dan deteksi kesalahan yang lebih baik, namun membutuhkan waktu yang lebih panjang dan ruang yang lebih luas untuk mengirim kode tersebut. Teknik ini disebut *ekstensi dari kode* dan kode C yang telah diperpanjang disebut *kode C yang diekstensi*.

Kode Preparata membentuk suatu kelas kode pengoreksi dua kesalahan non-linier. Kode tersebut dinamakan sesuai Franco P. Preparata yang memperkenalkannya pertama kali pada 1968. Hammons dkk. [1] bekerja pada kode GEH dan memberi nama kode "Preparata" atas $GR(4, m)$ karena peta biner dari kode tersebut oleh pemetaan Gray memiliki sifat yang sama dengan kode Preparata asli atas lapangan berhingga. Berdasarkan jurnal tersebut, didefinisikan kode GEH sama halnya dengan definisi kode *extended Hamming* atas lapangan berhingga.

Definisi 6. *Matriks cek paritas untuk kode GEH P_q atas $GR(q, m)$ diberikan sebagai berikut*

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 1 & \xi & \xi^2 & \dots & \xi^{N-1} \end{pmatrix}$$

dengan ξ adalah akar dari polinomial dasar tak-tereduksi.

Dengan kata lain, jika $c = (c_\infty, c_1, \dots, c_{N-1})$ adalah katakode dari kode GEH, maka harus memenuhi persamaan berikut :

$$c_\infty + \sum_{i=1}^{N-1} c_i = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} c_i \xi^i = 0. \quad (3)$$

dengan c_∞ adalah simbol *zero-sum check*. Perhatikan bahwa kode GEH adalah dual dari kode Reed-Muller orde pertama atas $GR(q, m)$.

4 Hasil teoretis

4.1 Banyaknya katakode

Pada bagian ini, akan diberikan teorema mengenai banyaknya katakode dengan observasi pada matriks cek paritas dari kode GEH.

Teorema 1. *Banyaknya katakode dari kode GEH P_q adalah q^k , dengan $k = q^m - m - 1$.*

Bukti. Diberikan banyaknya katakode dengan observasi pada matriks cek paritas dari kode GEH. Untuk menyederhanakan, matriks cek paritas dapat ditulis sebagai

$$P = \begin{pmatrix} 1 & \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ \mathbf{0} & I_m & A_k \end{pmatrix} \quad (4)$$

dengan I_m adalah matriks identitas, A_k adalah matriks berukuran $m \times k$ dengan $k = 2^m - m - 1$, $\mathbf{0}$ adalah vektor kolom bernilai nol dan $\mathbf{1}$ adalah vektor baris bernilai 1. Dapat dilihat bahwa kolom pertama dan blok I_m berfungsi sebagai suku yang meniadakan. Artinya, banyaknya katakode hanya bergantung pada blok A_k , yaitu bagian dari sebuah katakode yang memiliki panjang k . Sehingga, banyaknya katakode seperti mengatur q buah nilai pada k kolom. \square

Encoding dilakukan dengan menulis simbol pesan dalam bentuk vektor $\mathbf{u} = \{u_1 \dots u_k\}$, dengan $u_i \in \mathbb{Z}_q$. Misalkan \mathbf{c} adalah vektor $\{c_\infty, c_1, \dots, c_N\}$, dengan $N = 2^m - 1$. Simbol pesan yang akan dikirimkan \mathbf{u} ditempatkan pada kolom $\{c_{m+1}, c_{m+2}, \dots, c_N\}$. Selanjutnya simbol pesan dikalikan dengan $-A_k^T$ dan ditempatkan pada kolom $\{c_1, c_2, \dots, c_m\}$. Terakhir, berikan simbol *zero sum check* c_∞ yang memenuhi $c_\infty + \sum_{i=1}^N c_i = 0$. Sehingga vektor \mathbf{c} adalah katakode dari kode GEH.

4.2 Bobot Lee minimum

Lemma 1. Misalkan $q' = \frac{q}{2}$. Bobot Lee minimum $P_{q'}$ atas $GR(q', m)$ akan selalu lebih kecil atau sama dengan bobot Lee minimum dari P_q atas $GR(q, m)$.

Bukti. Bobot Lee suatu katakode dari $P_{q'}$ atas $GR(q', m)$ dapat dituliskan sebagai

$$w_L(c') = \sum_{i=1}^{\frac{q'}{2}-1} i(n'_i + n'_{q'-i}) + \frac{q'}{2}n'_{\frac{q'}{2}},$$

dengan indeks penjumlahan yang sama, bobot Lee suatu katakode P_q atas $GR(q, m)$ dapat dituliskan sebagai

$$w_L(c) = \sum_{i=1}^{\frac{q'}{2}-1} i(n_i + n_{q-1-i}) + (q-i)(n_{q'-i} + n_{q'+i}) + \frac{q'}{2}(n_{\frac{q'}{2}} + n_{\frac{3q'}{2}}) + q'n_{q'}$$

dengan n'_i dan n_i adalah banyaknya entri katakode dengan bobot Lee i dari $P_{q'}$ dan P_q .

Didefinisikan pemetaan $\mu : GR(q, m) \rightarrow GR(q', m)$ sebagai $\mu(\xi_q) = \xi_{q'}$ dan $\mu(c) \equiv c \pmod{q'}$ dengan ξ_q dan $\xi_{q'}$ adalah akar dari polinomial dasar tak-tereduksi P_q dan $P_{q'}$ serta $c \in GR(q, m)$. Sehingga $\mu(P_q) = P_{q'}$. Dengan pemetaan μ , dapat dituliskan $n'_i = n_i + n_{q-i}$. Selanjutnya,

$$\begin{aligned} w_L(c') &= \sum_{i=1}^{\frac{q'}{2}-1} i(n'_i + n'_{q'-i}) + \frac{q'}{2}n'_{\frac{q'}{2}} \\ &= \sum_{i=1}^{\frac{q'}{2}-1} i(n_i + n_{q-1-i}) + i(n_{q'-i} + n_{q'+i}) + \frac{q'}{2}(n_{\frac{q'}{2}} + n_{\frac{3q'}{2}}) \\ &\leq \sum_{i=1}^{\frac{q'}{2}-1} i(n_i + n_{q-1-i}) + (q-i)(n_{q'-i} + n_{q'+i}) + \frac{q'}{2}(n_{\frac{q'}{2}} + n_{\frac{3q'}{2}}) + q'n_{q'}. \end{aligned}$$

Artinya $w_L(c') \leq w_L(c)$. Sehingga bobot Lee minimum $P_{q'}$ atas $GR(q', m)$ selalu lebih kecil atau sama dengan bobot Lee minimum P_q atas $GR(q, m)$. \square

Dari lemma 1, informasi paling penting adalah jika $\mathbf{c}' \in P_{q'}$ memiliki bobot Lee minimum pada $P_{q'}$ dan dilakukan transformasi $\mathbf{c}' \rightarrow \mathbf{c}$, dengan $c \in P_q$. Maka, beberapa dari katakode \mathbf{c} akan memiliki bobot Lee minimum pada P_q .

Berdasarkan informasi ini, dapat ditentukan bobot Lee minimum dari kode GEH atas $GR(q, m)$ dengan menemukan semua kemungkinan katakode dengan bobot Lee minimum pada karakter-

istik yang lebih rendah. Hasil utama pada tesis ini adalah menemukan semua kemungkinan katakode pada karakteristik 4, sebagai dasar utama untuk menentukan bobot Lee minimum pada karakteristik yang lebih tinggi. Untuk hal tersebut, dibutuhkan hubungan antar pangkat dari ξ . Bukti dari lemma berikut diberikan pada [1] dan [4].

Lemma 2. *Asumsikan bahwa $m \geq 3$. Misalkan ξ adalah akar dari polinomial dasar taktereduksi pada $\mathbb{Z}_4[\xi]$. Dapat dituliskan*

1. $\pm\xi^j \pm \xi^k$ dapat diinverskan untuk $0 \leq j < k < N$
2. $\xi^j - \xi^k \neq \pm\xi^l$ untuk nilai-nilai j, k, l yang berbeda pada $[0, N - 1]$
3. Jika $m \geq 3$ dan $i \neq j, k \neq l$ pada $[0, N - 1]$, maka $\xi^i - \xi^j = \xi^k - \xi^l \rightarrow i = k$ dan $j = l$
4. Jika $m \geq 3, m$ ganjil, maka $\xi^i + \xi^j + \xi^k + \xi^l = 0 \rightarrow i = j = k = l$

Hasil dari pemetaan kode GEH oleh homomorfisme $\eta : GR(q, m) \rightarrow \mathbb{F}_2$ adalah kode *extended Hamming* pada \mathbb{F}_2 .

Eksistensi bentuk dasar katakode dari kode *extended Hamming* atas \mathbb{F}_2 dengan bobot Hamming 4 dan bobot Hamming 6 dapat ditinjau dari bentuk penjumlahan vektor.

Dari [1] dan [4], diketahui bahwa bobot Lee minimum untuk P_4 adalah 6 untuk m ganjil serta 4 untuk m genap untuk setiap $m \geq 3$. Pada teorema berikut ini, akan diberikan semua bentuk katakode dengan bobot Lee minimum dengan transformasi katakode dari *extended Hamming code* atas lapangan berhingga \mathbb{F}_2 .

Pada teorema berikut, koordinat $\{\infty, a, b, c, d, e\}$ bersesuaian dengan koordinat dari entri tak nol pada katakode dari *extended Hamming code* dengan bobot Hamming 4 dan 6.

Teorema 2. *Bobot Lee minimum dari P_4 atas $GR(4, m)$ dengan panjang 2^m , $m \geq 3$, m ganjil adalah 6. Daftar lengkap dari katakode tersebut adalah sebagai berikut*

Tabel 1: Daftar katakode untuk m ganjil, $m \geq 3$

Kasus	c_∞	c_0	c_a	c_b	c_c	c_d	c_e	w_L
Kasus 1	-1	1	1	1	2	0	0	6
Kasus 2	1	-1	1	1	2	0	0	6
Kasus 3	2	-1	1	1	1	0	0	6
Kasus 4	0	-1	1	1	1	2	0	6
Kasus 5	0	-1	1	1	1	1	1	6
Kasus 6	0	-1	-1	-1	1	1	1	6
Kasus 7	-1	1	1	1	1	1	0	6
Kasus 8	1	-1	1	1	1	1	0	6
Kasus 9	-1	-1	-1	1	1	1	0	6
Kasus 10	1	-1	-1	-1	1	1	0	6

Bobot Lee minimum dari P_4 atas $GR(4, m)$ dengan panjang 2^m , $m \geq 3$, m genap adalah 4. Daftar lengkap dari katakode tersebut adalah sebagai berikut

Tabel 2: Daftar katakode untuk m genap, $m \geq 4$

Kasus	c_∞	c_0	c_a	c_b	c_c	w_L
Kasus 11	1	1	1	1	0	4
Kasus 12	0	1	1	1	1	4

Bukti. Persamaan (2) mensyaratkan bahwa setiap katakode memiliki entri ganjil yang berjumlah genap. Sehingga, bobot Lee minimum haruslah genap. Katakode yang didapat dari hasil perkalian setiap entri tak nol dari katakode lain dengan -1 memberikan bobot Lee yang sama dengan katakode asal, sehingga cukup dipilih dari salah satu katakode tersebut.

Asumsikan bahwa m bilangan ganjil. Telah diketahui bahwa bobot Hamming minimum dari kode Hamming H atas lapangan berhingga adalah 4. Jika katakode dari P_4 memiliki bobot Lee 6 dan pemetaannya memiliki bobot Hamming 4, maka entri tak nol dari katakode tersebut adalah $\{-1, 1, 1, 1, 2\}$.

Jika katakode dari P_4 memiliki bobot Lee 6 dan pemetaannya berbobot Hamming 6, maka dapat disimpulkan bahwa katakode tersebut akan memiliki bentuk berikut :

1. Katakode dengan entri taknol $\{-1, 1, 1, 1, 1, 1\}$.
2. Katakode dengan entri taknol $\{-1, -1, -1, 1, 1, 1\}$.

Berikutnya perlu diperiksa bahwa katakode dengan bentuk ini memenuhi persamaan (3). Perhatikan bahwa setiap elemen $\alpha_4 \in GR(4, m)$ memiliki representasi unik

$$\alpha_4 = a_0 + 2a_1 \quad (5)$$

dengan $a_0, a_1 \in \mathcal{T} = \{0, 1, \gamma, \dots, \gamma^{n-1}\}$. Diberikan katakode Hamming yang diekstensi H dengan bobot Hamming minimum 4, sedemikian sehingga memenuhi persamaan $\theta^a + \theta^b + \theta^c + \theta^d = 0$ untuk suatu a, b, c dan d . Persamaan ini dapat dituliskan sebagai $\theta^a(1 + \theta^{b-a} + \theta^{c-a} + \theta^{d-a}) = 0$. Sehingga, dapat diasumsikan bahwa $1 + \theta^a + \theta^b + \theta^c = 0$ terpenuhi untuk suatu nilai a, b dan c . Dipilih suatu vektor pada $GR(4, m)$ dengan entri taknol $\{-1, 1, 1, 1, 2\}$. Asumsikan bahwa c_∞ adalah 0 atau 2. Koordinat 0, a, b dan c berkorespondensi dengan entri taknol pada katakode pada H . Dapat diasumsikan bahwa $c_0 = -1$. Selain itu, sebagai contoh, untuk kasus $c_a = -1$, dapat direduksi menjadi kasus $c_0 = -1$ dengan perkalian $1 - \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c = a_0 + 2a_1$ dengan γ^{-a} . Selanjutnya dapat dituliskan

$$-1 + \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c = a_0 + 2a_1, \quad a_0, a_1 \in \mathcal{T}. \quad (6)$$

Dengan menerapkan pemetaan τ pada (6), didapat

$$a_0 = \left(-1 + \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c\right)^{2^m} = 1 + \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c + 2 \left(\gamma^{2^{m-1}a} + \gamma^{2^{m-1}b} + \gamma^{2^{m-1}c} + \gamma^{2^{m-1}(a+b)} + \gamma^{2^{m-1}(a+c)} + \gamma^{2^{m-1}(b+c)} \right). \quad (7)$$

Jika (7) dikalikan dengan 2, maka didapat

$$2a_0 = 2 \left(-1 + \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c\right). \quad (8)$$

Dari $2 \left(-1 + \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c\right) = 2 \left(1 + \theta^a + \theta^b + \theta^c\right) = 0$, terlihat bahwa a_0 haruslah 0.

Selanjutnya, a_1 dapat dihitung dengan

$$\begin{aligned} 2a_1 &= \left(-1 + \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c\right) - \left(-1 + \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c\right)^{2^m} \\ &= 2 \left(1 + \gamma^{2^{m-1}a} + \gamma^{2^{m-1}b} + \gamma^{2^{m-1}c} + \gamma^{2^{m-1}(a+b)} + \gamma^{2^{m-1}(a+c)} + \gamma^{2^{m-1}(b+c)}\right), \\ a_1 &= 1 + \theta^{2^{m-1}a} + \theta^{2^{m-1}b} + \theta^{2^{m-1}c} + \theta^{2^{m-1}(a+b)} + \theta^{2^{m-1}(a+c)} + \theta^{2^{m-1}(b+c)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Dengan menggunakan automorfisme Frobenius, didapat

$$1 + \theta^{2^{m-1}a} + \theta^{2^{m-1}b} + \theta^{2^{m-1}c} = (1 + \theta^a + \theta^b + \theta^c) 2^{m-1} = 0.$$

Sehingga, dapat dituliskan

$$a_1 = \theta^{2^{m-1}(a+b)} + \theta^{2^{m-1}(a+c)} + \theta^{2^{m-1}(b+c)}. \quad (10)$$

Akibatnya, nilai d sedemikian sehingga

$$-1 + \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c = 2\gamma^d \quad (11)$$

dapat ditentukan dari $2\gamma^d = 2 \left(\theta^{2^{m-1}(a+b)} + \theta^{2^{m-1}(a+c)} + \theta^{2^{m-1}(b+c)} \right)$. Selain itu, $-1 + \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c = 0$.

Untuk kasus $-1 + \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c = 0$, katakode harus memiliki $c_\infty = 2$ untuk memenuhi persamaan pertama (2) dan pemetaannya memenuhi $\theta^{a+b} + \theta^{a+c} + \theta^{b+c} = 0$. Sehingga, katakode dengan bobot Lee 6 adalah sebagai berikut :

$$\left(\begin{array}{cccccccc} c_\infty & \dots & c_0 & \dots & c_a & \dots & c_b & \dots & c_c & \dots \\ 2 & \dots & -1 & \dots & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 & \dots \end{array} \right). \quad (12)$$

Ini adalah kasus 3 pada Tabel 1 dari teorema.

Untuk kasus $-1 + \gamma^a + \gamma^b + \gamma^c = 2\gamma^d$ dengan $2\gamma^d = 2 \left(\theta^{2^{m-1}(a+b)} + \theta^{2^{m-1}(a+c)} + \theta^{2^{m-1}(b+c)} \right)$, katakode harus memiliki $c_\infty = 0$ agar persamaan (2) terpenuhi. Jadi, katakode dengan bobot Lee 6 adalah sebagai berikut :

$$\left(\begin{array}{cccccccc} c_\infty & \dots & c_0 & \dots & c_a & \dots & c_b & \dots & c_c & \dots & c_d & \dots \\ 0 & \dots & -1 & \dots & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 & \dots & 2 & \dots \end{array} \right). \quad (13)$$

Ini adalah kasus 4 pada Tabel 1 dari teorema. Jika diasumsikan bahwa $c_\infty = \pm 1$, maka didapatkan kasus 1 dan 2 dengan perhitungan yang serupa dan koordinat c ditentukan oleh katakode dari kode Hamming yang diekstensi.

Perhatikan vektor dari $GR(4, m)$ yang memiliki peta oleh η adalah katakode dari H dengan bobot Hamming 6. Akan didapatkan kasus 5 dan 6 jika $c_\infty = 0$ dan kasus 7, 8, 9 dan 10 jika $c_\infty = \pm 1$ dengan cara yang sama.

Selanjutnya, asumsikan bahwa m bilangan genap. Untuk memenuhi persamaan (2), katakode dari P_4 dengan bobot Lee 4 memiliki entri taknol $\{1, 1, -1, -1\}$ atau $\{1, 1, 1, 1\}$.

Jika diketahui bahwa entri taknol $\{1, 1, -1, -1\}$ dan $c_\infty = 0$, maka haruslah terpenuhi $\gamma^a + \gamma^b - \gamma^c - \gamma^d = 0$, sehingga $a = d$ dan $b = c$ dari Lemma 2. Kontradiksi. Di sisi lain, jika katakode memiliki $c_\infty = \pm 1$ maka akan kontradiksi dengan poin (2) dari Lemma 2.

Hammons et al. [1] menunjukkan bahwa $\gamma^{2t} + \gamma^t + 1 = 0$ terpenuhi dengan $t = (2^m - 1)/3$ dan katakode dengan entri taknol $c_\infty = c_0 = c_t = c_{2t} = 1$ memiliki bobot Lee 4. Katakode dengan $c_\infty = 0$ dan 4 entri taknol lain juga memiliki bobot Lee 4. Kasus 11 dan 12 mewakili hal ini. \square

PUSTAKA

- [1] A. R. Hammons, Jr., P. V. Kumar, A. R. Calderbank, N. J. A. Sloane, P. Solè, "The \mathbb{Z}_4 -Linearity of Kerdock, Preparata, Goethals, and Related Codes," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 40, pp. 301-319, 1994.
- [2] D. G. Hoffman, D. A. Leonard, C. C. Lindner, K. T. Phelps, C. A. Rodger, J. R. Wall. *Coding Theory : The Essentials*. New York : Marcel Dekker Inc. 1991.
- [3] R. Lidl, H. Niederreiter. *Introduction to finite fields and their applications*. Cambridge : Cambridge University Press. 2000.
- [4] J. H. van Lint. *Introduction to Coding Theory*. New York : Springer-Verlag. 1999.

PENGGUNAAN METODE HOMOTOPI PADE' UNTUK MENYELESAIKAN MASALAH LOTKA–VOLTERRA LOGISTIK

Embay Rohaeti¹, Jaharuddin², Ali Kusnanto³

Universitas Pakuan, Bogor¹

Departemen Matematika FMIPA-IPB, Bogor²

Departemen Matematika FMIPA-IPB, Bogor³

ABSTRAK

Dalam penelitian ini masalah Lotka–Volterra dan Lotka–Volterra Logistik diselesaikan dengan metode homotopi dan metode homotopi Pade'. Metode homotopi adalah suatu metode pendekatan analitik untuk menyelesaikan suatu masalah taklinear. Penyelesaian dengan menggunakan metode homotopi ini dilakukan dengan memisalkan penyelesaiannya dalam bentuk deret yang umum. Metode homotopi Pade' merupakan pengembangan dari metode homotopi. Hasil penyelesaian dengan menggunakan metode homotopi Pade' dilakukan dengan menggunakan penyelesaian yang diperoleh dari metode homotopi. Dalam hal ini persamaan dari penyelesaian dengan metode homotopi diubah ke dalam bentuk fungsi rasional. Hasil penyelesaian metode homotopi dan metode homotopi Pade' dibandingkan dengan penyelesaian numerik, hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa metode homotopi Pade' lebih baik daripada metode homotopi karena metode homotopi Pade' dapat lebih memperbesar daerah kekonvergenan dan menghasilkan galat yang sangat kecil.

Katakunci : Metode homotopi, Metode homotopi Pade', Lotka–Volterra and Lotka–Volterra Logistik.

1 PENDAHULUAN

Makhluk hidup di bumi ini terdiri dari bermacam-macam spesies yang berbentuk populasi dan hidup bersama. Makhluk hidup selalu bergantung kepada makhluk hidup yang lain. Tiap individu akan selalu berinteraksi dengan individu lain yang sejenis atau lain jenis, baik individu dalam satu populasi atau individu-individu dari populasi lain. Ada beberapa jenis interaksi yang dapat terjadi antar spesies. Salah satu interaksi tersebut adalah predasi yaitu hubungan antara mangsa (*prey*) dan pemangsa (*predator*). Interaksi ini sangat erat kaitannya karena tanpa mangsa, *predator* tidak dapat bertahan hidup karena tidak ada sumber makanan. Sebaliknya *predator* berfungsi sebagai pengontrol populasi mangsa.

Fenomena tersebut dapat dijelaskan dalam suatu model matematika yaitu model Lotka–Volterra atau disebut juga model mangsa-pemangsa. Model matematika tersebut

umumnya dinyatakan dalam bentuk persamaan tak linear. Masalah tak linear ini biasanya sulit diselesaikan secara analitik. Karena penyelesaian analitiknya sulit diperoleh, maka pada penelitian ini penyelesaian numerik diasumsikan sebagai penyelesaian sebenarnya. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah : menggunakan metode homotopi dan metode homotopi Pade' untuk menyelesaikan masalah pada model Lotka–Volterra dan Lotka–Volterra dengan logistik, membandingkan penyelesaian numerik dengan penyelesaian Metode homotopi dan homotopi Pade' dan menginterpretasikan hasil yang diperoleh.

2 MODEL DAN METODE

Model Matematika

Berikut ini diberikan model interaksi antara dua spesies yang berbeda, satu spesies disebut mangsa (*Prey*) dan spesies lainnya disebut pemangsa (*Predator*), model ini disebut juga model mangsa pemangsa atau model Lotka–Volterra [1]. Model yang diungkapkan oleh Lotka–Volterra sebagai berikut

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= ax(t) - cx(t)y(t) \\ \frac{dy}{dt} &= -ey(t) + fx(t)y(t).\end{aligned}$$

dan model Lotka–Volterra dengan logistik adalah

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= ax(t) - cx(t)y(t) - bx^2(x) \\ \frac{dy}{dt} &= -ey(t) + fx(t)y(t).\end{aligned}$$

Kondisi awal $x(0) = n_1$ dan $y(0) = n_2$, dengan $x(t)$ dan $y(t)$ masing–masing merupakan banyaknya populasi mangsa dan pemangsa pada waktu t . Parameter a, b, c, e, f , menunjukkan interaksi antara kedua spesies, dengan a menunjukkan kelahiran mangsa, b menunjukkan tingkat interaksi antar mangsa yang mengakibatkan berkurangnya mangsa, c menunjukkan tingkat interaksi antar mangsa dan pemangsa yang mengakibatkan mangsa berkurang, e menunjukkan laju kematian pemangsa yang diakibatkan kematian secara alami, f

menunjukkan tingkat interaksi antara pemangsa dan mangsa yang mengakibatkan pemangsa bertambah.

Metode Homotopi

Berikut ini diberikan ilustrasi konsep dasar metode homotopi berdasarkan alur pada [2],[3] dan [4]. Tinjau sistem persamaan diferensial berikut: $A[y]=0$, dengan A suatu operator turunan tak linear dan y fungsi yang akan ditentukan.

Didefinisikan fungsi homotopi sebagai berikut

$$\mathcal{H}[\phi(x, q), y_0(x), B(x), h, q] = (1 - q) \mathcal{L}[\phi(x, q) - y_0(x)] - qhB(x) - A[\phi(x, q)]$$

dimana \mathcal{L} operator linear, ϕ fungsi yang bergantung pada x dan parameter q , $y_0(x)$ pendekatan awal dari penyelesaian, h parameter bantu dan fungsi bantu $B(x)$. Pada saat $q = 0$, diperoleh fungsi $\phi(x, 0) = y_0(x)$ yang merupakan penyelesaian dari $\mathcal{H}[\phi, y_0, B, h, q] = 0$. Pada saat $q = 1$, diperoleh fungsi $\phi(x, 1) = y(x)$ yang merupakan penyelesaian dari $\mathcal{H}[\phi, y_0, B, h, 1] = 0$ atau $A[\phi(x, 1)] = 0$. Jadi fungsi $\phi(x, 1)$ merupakan penyelesaian pendekatan masalah tak linear dengan metode homotopi. Penyelesaian $\phi(x, 1)$ dimisalkan dalam bentuk deret berikut

$$\phi(x, 1) = y_0(x) + \sum_{m=1}^{\infty} y_m(x),$$

dengan $y_0(x)$ merupakan pendekatan awal yang diberikan, dan $y_m(x)$, $m = 1, 2, \dots$, akan ditentukan. Untuk menggunakan metode homotopi pada masalah Lotka–Volterra dengan logistik, didefinisikan :

$$\mathcal{L}_1 = \mathcal{L}_2 = \frac{\partial}{\partial t}$$

$$A_1[\phi, \psi] = \frac{\partial \phi(t, q)}{\partial t} - a\phi(t, q) + b\phi(t, q)\psi(t, q) + c\phi(t, q)\psi(t, q)$$

$$A_2[\phi, \psi] = \frac{\partial \psi(t, q)}{\partial t} + e\psi(t, q) - f\phi(t, q)\psi(t, q).$$

Sedangkan penggunaan metode homotopi pada model Lotka–Volterra sama seperti di atas tetapi $b = 0$. Penyelesaian model Lotka – Volterra dengan logistik dinyatakan dalam bentuk

$$x(t) = \phi(t,1) = x_0(t) + \sum_{m=1}^{+\infty} x_m(t)$$

$$y(t) = \psi(t,1) = y_0(t) + \sum_{m=1}^{+\infty} y_m(t),$$

dengan $x_0(t)$ dan $y_0(t)$ pendekatan awal yang masing–masing dipilih berbentuk $x_0(t) = n_1 + t$, dan $y_0(t) = n_2 + t$, dimana n_1 dan n_2 banyaknya mangsa dan pemangsa. Bentuk $x_m(t)$ dan $y_m(t), m = 1, 2, \dots$ ditentukan oleh persamaan berikut

$$\begin{aligned} x_m(t) &= \chi_m x_{m-1}(t) + h_1 \int_0^t \frac{1}{(m-1)!} \frac{\partial^{m-1} A_1[\phi(s,q), \psi(s,q)]}{\partial q^{m-1}} \Big|_{q=0} ds \\ y_m(t) &= \chi_m y_{m-1}(t) + h_2 \int_0^t \frac{1}{(m-1)!} \frac{\partial^{m-1} A_2[\phi(s,q), \psi(s,q)]}{\partial q^{m-1}} \Big|_{q=0} ds, \end{aligned} \quad (1)$$

dengan $\chi_m = \begin{cases} 0, & m \leq 1 \\ 1, & m > 1. \end{cases}$

Metode Homotopi Pade'

Metode homotopi Pade' merupakan pengembangan dari metode homotopi. Dalam hal ini penyelesaian masalah tak linear dinyatakan dalam bentuk

$$R_{m,n}(t) = \frac{\sum_{k=0}^m p_k t^k}{\sum_{k=0}^n q_k t^k},$$

dengan p_k dan q_k ditentukan berdasarkan penyelesaian dalam metode homotopi, dan m, n masing–masing orde metode homotopi yang digunakan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini akan dibahas dua kasus, yaitu model Lotka–Volterra dan model Lotka–Volterra dengan logistik, kedua kasus tersebut diselesaikan dengan menggunakan metode homotopi dan metode homotopi Pade'. Berikut ini langkah-langkah yang harus dilakukan dalam penyelesaian masalah tersebut

1. Masalah pada model Lotka–Volterra dan Lotka–Volterra dengan logistik diselesaikan berdasarkan metode homotopi dan penyelesaiannya dinyatakan dalam bentuk deret sebagai berikut

$$x(t) = \sum_{m=0}^{\infty} x_m(t) \quad \text{dan} \quad y(t) = \sum_{m=0}^{\infty} y_m(t)$$

2. Metode homotopi Pade' untuk masalah pada model Lotka–Volterra dan Lotka–Volterra dengan logistik tersebut dilakukan dengan langkah–langkah berikut :
 - a. Membentuk persamaan berikut

$$x(t) \cdot q_n(t) - p_m(t) = 0 \quad \text{dan} \quad y(t) \cdot q_n(t) - p_m(t) = 0,$$

dengan $x(t)$ dan $y(t)$ merupakan penyelesaian yang diperoleh dari penyelesaian metode homotopi.

- b. Menentukan nilai p_k dan q_k dari langkah (a).
- c. Menggunakan p_k dan q_k yang telah diperoleh pada (b) ke dalam penyelesaian $R_{m,n}(t)$ yang merupakan penyelesaian masalah pada model Lotka–Volterra dan Lotka–Volterra dengan logistik menggunakan metode homotopi Pade'.

Kasus I : Model Lotka–Volterra

Dalam kasus ini terdapat interaksi dua spesies antara spesies mangsa dan spesies pemangsa. Pada kondisi awal dimisalkan banyaknya mangsa lebih besar dari pemangsa. Dipilih $n_1 = 7$, $n_2 = 5$ dan $a = 1, c = 0.1, e = 0.5, f = 0.1$.

Berdasarkan persamaan (1) diperoleh

$$x_1(t) = 2.5t - 0.1t^2 - 0.0333333t^3$$

$$y_1(t) = 0.35t^2 + 0.0333333t^3$$

$$x_2(t) = 2.5t + 1.15t^2 - 0.4533333t^3 - 0.0525t^4$$

$$y_2(t) = 1.6t^2 + 0.178333t^3 + 0.0025t^4$$

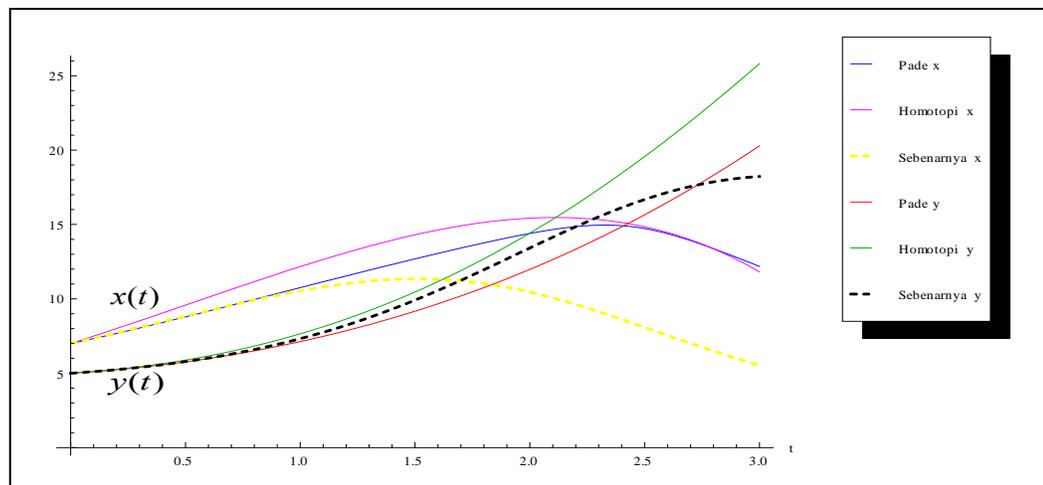
dan seterusnya diperoleh $x_m(t)$ dan $y_m(t)$, $m = 3, 4, \dots$. Sehingga penyelesaian berbentuk

$$x(t) = x_0(t) + x_1(t) + x_2(t) + \dots$$

$$y(t) = y_0(t) + y_1(t) + y_2(t) + \dots$$

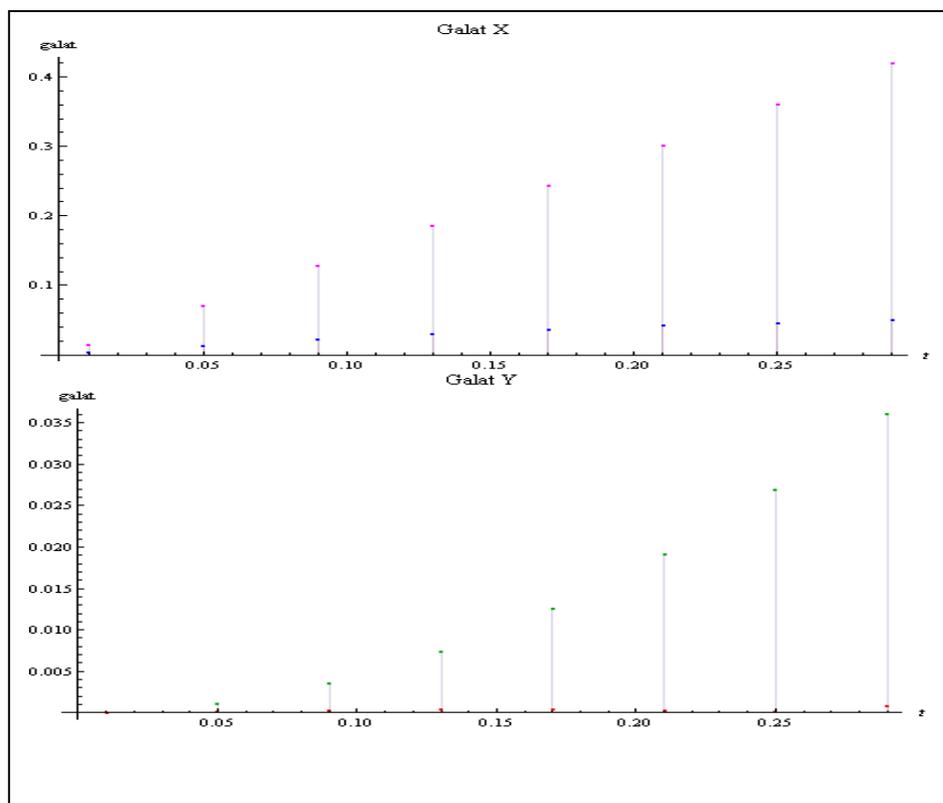
Dengan metode homotopi Pade', diperoleh penyelesaian model Lotka–Volterra berbentuk $R_{2,2}(t)$.

Grafik penyelesaian berdasarkan metode homotopi dan metode homotopi Pade' dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1 juga diperlihatkan perbandingan penyelesaian sebenarnya pada model Lotka–Volterra dengan penyelesaian berdasarkan metode homotopi dan metode homotopi Pade'.



Gambar 1 Penyelesaian hampiran model Lotka–Volterra.

Berdasarkan Gambar 1 penyelesaian hampiran dengan metode homotopi Pade' lebih mendekati penyelesaian sebenarnya, dengan daerah kekonvergenan yang lebih luas dibandingkan penyelesaian metode homotopi. Untuk penyelesaian $x(t)$ dan $y(t)$, daerah kekonvergenan dengan metode homotopi masing-masing adalah $[0, 0.1]$ dan $[0, 0.7]$, sedangkan daerah kekonvergenan dengan metode homotopi Pade' masing-masing adalah $[0, 0.1]$ dan $[0, 0.1]$. Galat dari kedua metode tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Galat penyelesaian hampiran model Lotka–Volterra.

Kasus II : Model Lotka–Volterra dengan logistik

Dalam kasus ini terdapat interaksi dua spesies antara spesies mangsa dan spesies pemangsa. Pada kondisi awal dimisalkan banyaknya mangsa lebih besar dari pemangsa. Dipilih $n_1 = 10$, $n_2 = 5$ dan $a=1, b=0.1, c=0.1, e=0.5, f=0.1$.

Berdasarkan persamaan (1) diperoleh

$$x_1(t) = 4t - 0.75t^2 - 0.0666667t^3$$

$$y_1(t) = 1.5t + 0.5t^2 + 0.0333333t^3$$

$$x_2(t) = 4t - 0.25t^2 - 1.41667t^3 - 0.0166667t^4 + 0.005t^5$$

$$y_2(t) = 1.5t + 3.25t^2 + 0.183333t^3 - 0.0291667t^4 - 0.00166667t^5$$

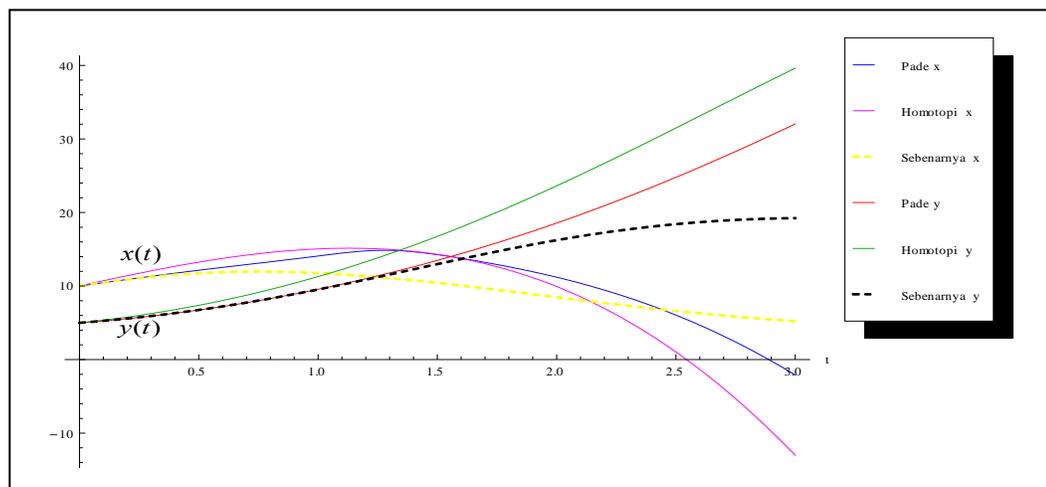
dan seterusnya diperoleh $x_m(t)$ dan $y_m(t), m = 3, 4, \dots$ Sehingga penyelesaian berbentuk

$$x(t) = x_0(t) + x_1(t) + x_2(t) + \dots$$

$$y(t) = y_0(t) + y_1(t) + y_2(t) + \dots$$

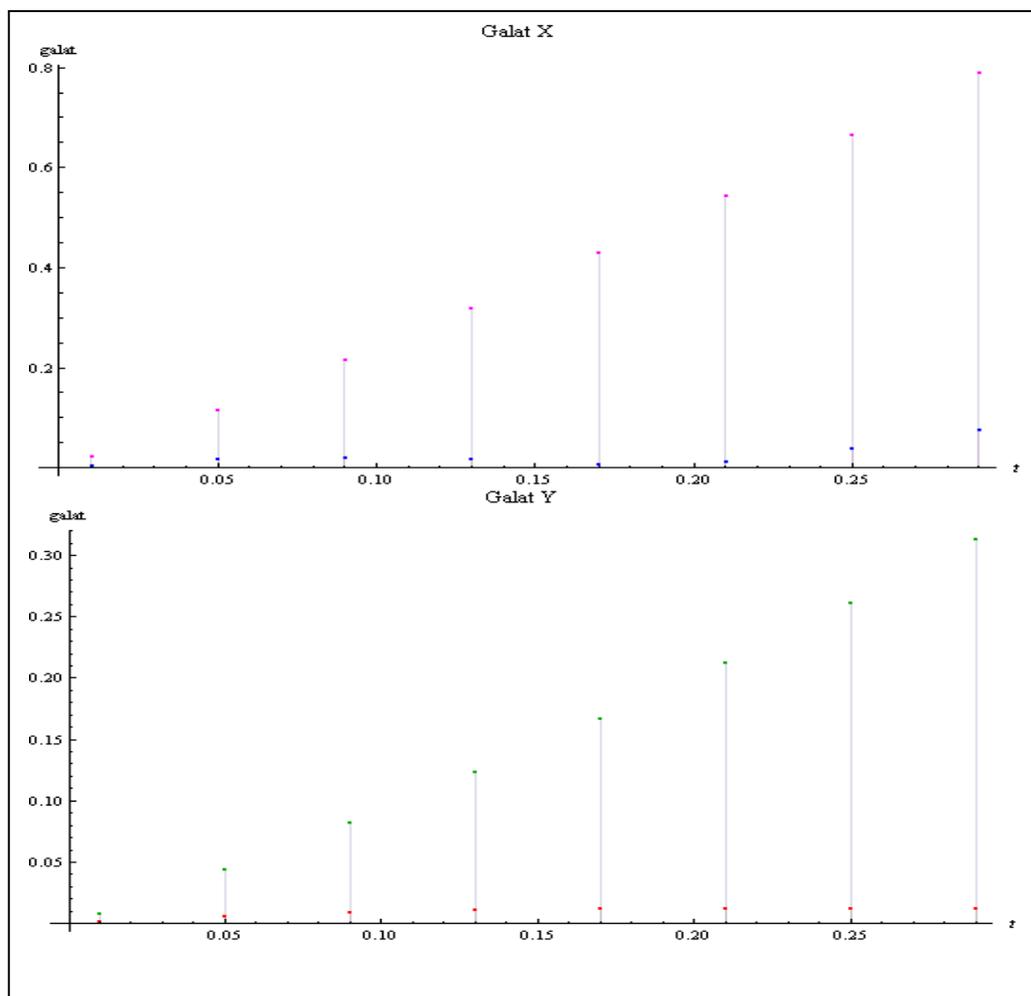
Dengan metode homotopi Pade', diperoleh penyelesaian model Lotka–Volterra berbentuk $R_{2,2}(t)$.

Grafik penyelesaian berdasarkan metode homotopi dan metode homotopi Pade' dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3 juga diperlihatkan perbandingan penyelesaian sebenarnya pada model Lotka–Volterra dengan penyelesaian berdasarkan metode homotopi dan metode homotopi Pade'.



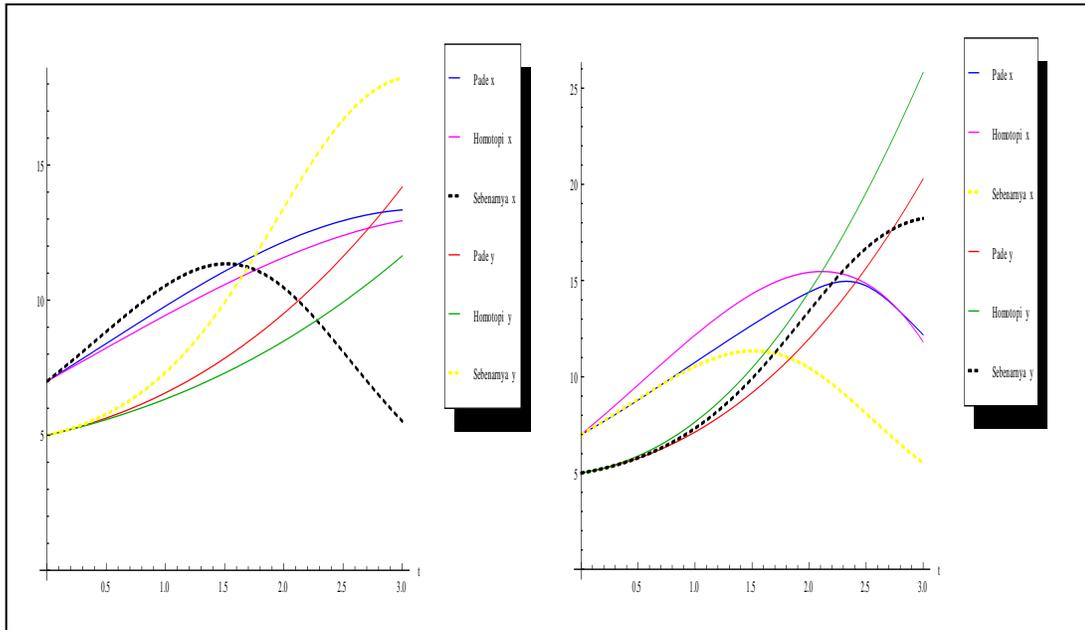
Gambar 3 Penyelesaian hampiran model Lotka–Volterra dengan logistik.

Berdasarkan Gambar 3 penyelesaian hampiran dengan metode homotopi Pade' lebih mendekati penyelesaian sebenarnya, dengan daerah kekonvergenan yang lebih luas dibandingkan penyelesaian metode homotopi. Untuk penyelesaian $x(t)$ dan $y(t)$, daerah kekonvergenan dengan metode homotopi masing-masing adalah $[0,0.1]$ dan $[0,0.5]$, sedangkan daerah kekonvergenan dengan metode homotopi Pade' masing-masing adalah $[0,0.3]$ dan $[0,1.5]$. Galat dari kedua metode tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.



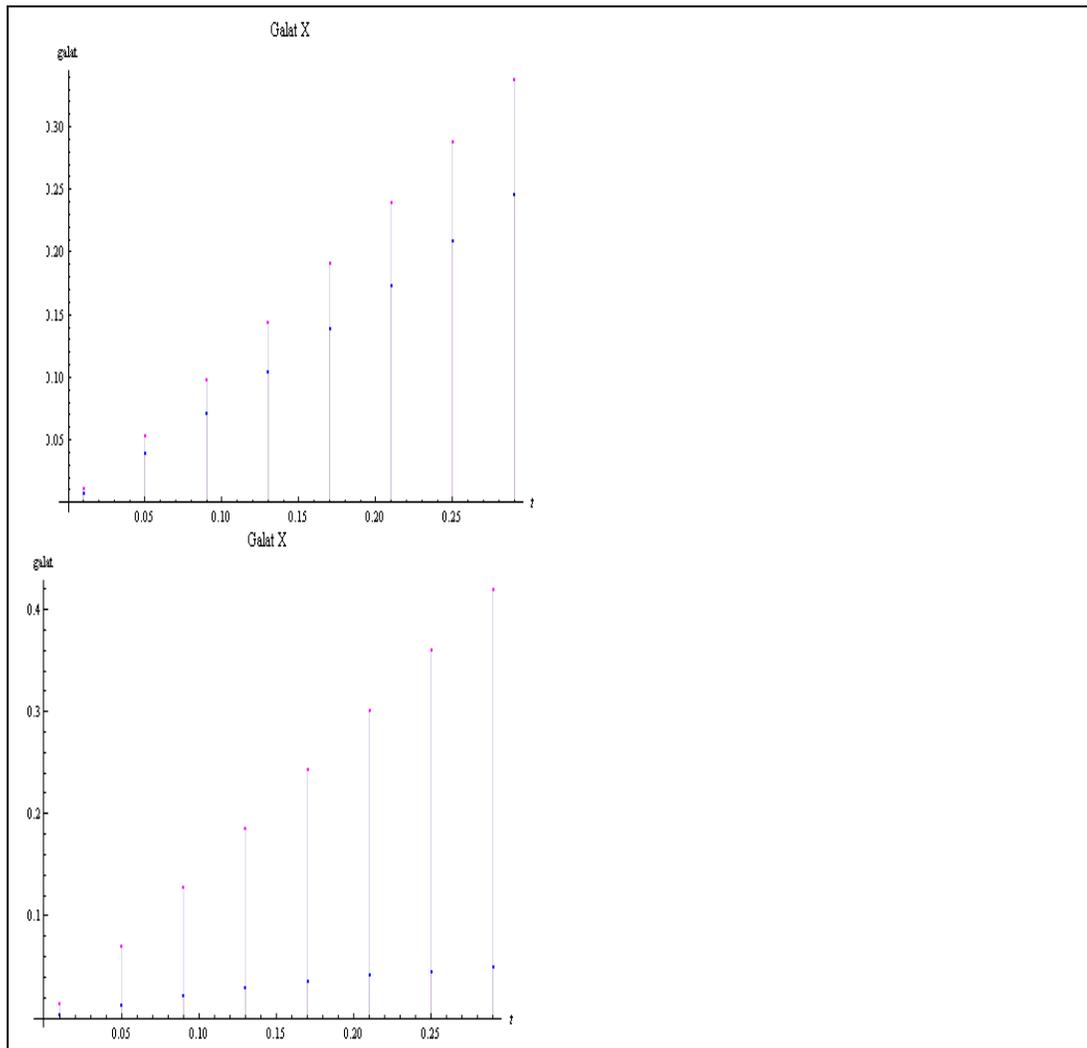
Gambar 4 Galat penyelesaian hampiran model Lotka–Volterra dengan logistik.

Pada Gambar 5, ditunjukkan perbandingan penyelesaian model Lotka–Volterra berdasarkan orde yang digunakan, yaitu orde dua dan orde empat.



Gambar 5. Perbandingan orde penyelesaian hampiran model Lotka–Volterra.

Pada Gambar 5 juga diperlihatkan bahwa semakin tinggi orde yang digunakan, semakin mendekati penyelesaian sebenarnya baik itu menggunakan metode homotopi maupun metode homotopi Pade'. Semakin tinggi orde yang digunakan, metode homotopi Pade' lebih baik dibandingkan dengan metode homotopi, hal ini terlihat pada daerah kekonvergenan dengan metode homotopi Pade' yang lebih luas dan galat yang dihasilkan lebih kecil, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan orde galat penyelesaian hampiran model Lotka–Volterra.

4 KESIMPULAN

Model Lotka–Volterra dan model Lotka–Volterra dengan logistik diselesaikan dengan menggunakan metode homotopi dan metode homotopi Pade'. Hasil penyelesaian dengan menggunakan metode homotopi dimisalkan dalam bentuk deret yang umum, sedangkan hasil penyelesaian dengan menggunakan metode homotopi Pade' dilakukan dengan menggunakan penyelesaian yang diperoleh dari metode homotopi. Dalam hal ini persamaan dari penyelesaian dengan metode homotopi diubah ke dalam bentuk fungsi

rasional. Keakuratan penyelesaian yang diperoleh dengan metode homotopi dan metode Homotopi Pade' didasarkan pada tingginya orde yang digunakan. Semakin tinggi orde yang digunakan, penyelesaiannya akan semakin mendekati penyelesaian sebenarnya.

Penyelesaian yang diperoleh dengan metode homotopi dan metode homotopi Pade' dibandingkan dengan penyelesaian sebenarnya. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi orde yang digunakan, metode Homotopi Pade' lebih baik dari metode Homotopi. Hal ini terlihat pada daerah kekonvergenan metode Homotopi Pade' yang lebih luas dan galat yang dihasilkan lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haberman R, 2003. *Mathematical Models : Mechanical Vibration, population Dynamics and Traffic Flow, an Introduction to Applied Mathematics*. Prentice-Hall, USA.
- [2] Liao S, 2004. *Beyond Perturbation : Introduction to The Homotopy Analysis Method*. Boca Raton, New York.
- [3] Jaharuddin, 2008. Analisis Homotopi dalam Penyelesaian Suatu Masalah Tak Linear. *Jurnal Matematika dan Aplikasinya* 7:6-16.
- [4] Faghidian SA, 2011. Application of Homotopy Pade' Technique to The Volterra's Prey and Predator Problem. *Appl.Comput Math* V10 N2, PP 262-270.

ANALISIS KESTABILAN MODEL INFEKSI VIRUS HEPATITIS B DENGAN PERTUMBUHAN HEPATOSIT YANG BERSIFAT LOGISTIK

Dewi Senja Rahmahwati^{1*}, Ali Kusnanto², Jaharuddin³

Departemen Matematika FMIPA-IPB, Bogor

Email: dewi_math45@yahoo.com

ABSTRAK

Pada makalah ini dibahas model matematika untuk menggambarkan dinamika populasi hepatosit dan virus hepatitis B yang dikembangkan oleh Eikenberry *et al.* (2010). Model yang digunakan adalah model infeksi virus hepatitis B dengan pertumbuhan hepatosit yang bersifat logistik. Kestabilan titik tetap dari model dipengaruhi oleh bilangan reproduksi dasar (R_0). Nilai dari bilangan reproduksi dasar (R_0) dipengaruhi oleh laju interaksi hepatosit sehat dengan virus, laju pertumbuhan virus, laju kematian hepatosit yang terinfeksi serta laju kematian virus. Dari hasil analisis dapat ditunjukkan bahwa ketika $R_0 < 1$ populasi hepatosit sehat semakin meningkat mencapai ukuran maksimal hati sedangkan populasi hepatosit yang terinfeksi dan virus semakin menurun, artinya hati berada pada kondisi yang sehat. Ketika $R_0 > 1$ populasi hepatosit sehat berkurang sedangkan populasi hepatosit yang terinfeksi dan virus bertambah menuju ke suatu titik tertentu. Dalam model ini juga didapatkan kondisi bifurkasi Hopf yang mengakibatkan sistem akan memiliki *limit cycle*.

Kata kunci: analisis kestabilan, model infeksi virus, hepatitis B, bifurkasi Hopf.

1 PENDAHULUAN

Hepatitis merupakan pembengkakan atau radang pada hati sehingga menyebabkan hati tidak dapat berfungsi dengan baik. Hepatitis dapat disebabkan oleh virus, alkohol, atau obat-obatan. Penyebab yang sering dijumpai pada berbagai kasus hepatitis adalah virus. Hepatitis B adalah salah satu jenis hepatitis yang disebabkan oleh virus. Adanya infeksi *Hepatitis B Virus* (HBV) yang menyerang hati, dapat menyebabkan penyakit akut dan kronis. HBV dikatakan akut, jika telah terjadi radang pada hati selama beberapa minggu kemudian pulih. Jika tidak pulih, maka disebut HBV kronis dan dapat berkembang menjadi sirosis hati.

HBV ditularkan melalui kontak dengan darah atau cairan tubuh lain dari orang yang terinfeksi. Pencegahan HBV dapat dilakukan dengan pemberian vaksin. Meskipun vaksin telah tersedia sejak tahun 1982 dan didistribusikan lebih dari 116 negara, 8-10% dari negara berkembang saat ini masih terinfeksi HBV. Virus ini 50-100 kali lebih cepat menular dibandingkan HIV. Dari mereka yang tertular HBV, 17,5% akan mengalami infeksi HBV kronis bahkan dapat meninggal akibat sirosis hati atau kanker hati. Anak-anak, terutama bayi

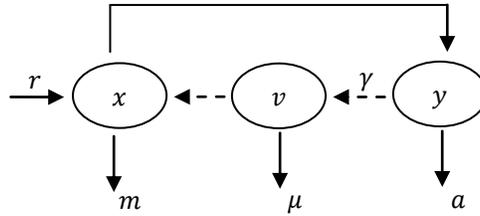
yang terinfeksi HBV mengalami risiko tertinggi terkena infeksi HBV kronis. Mereka dengan penyakit akut akan mengalami gejala berat sampai satu tahun, termasuk sakit kuning, kelelahan ekstrim, mual, muntah, dan nyeri perut [1].

Kebanyakan model matematika yang menjelaskan perilaku HBV tidak dikembangkan secara khusus untuk menggambarkan dinamika HBV, tetapi lebih kepada adaptasi dari model matematika yang menjelaskan perilaku HIV terhadap HBV. Salah satu model awal telah dipelajari di [2] dan [3]. Model matematika tersebut dinamakan *Basic Virus Infection Model* (BVIM). BVIM ini menjelaskan dinamika jumlah atau massa sel-sel sehat terutama sel hepatosit sehat, hepatosit yang terinfeksi, dan virus. Hepatosit adalah sel parenkim pada hati yang menempati sekitar 80% dari volume hati.

Model BVIM ini telah dikembangkan tetapi dengan beberapa perubahan [4]. Perubahan ini dimaksudkan agar lebih sesuai dengan kehidupan yang sebenarnya, terutama pada pertumbuhan hepatosit yang menggunakan fungsi logistik. Pada tulisan ini akan direkonstruksi pembentukan model HBV yang dimodelkan oleh Eikenberry *et al* di [4]. Selanjutnya dilakukan analisis kestabilan di sekitar titik tetap modelnya. Pertama, ditentukan titik tetap dari model, kemudian dilakukan pelinearan terhadap model tersebut. Selanjutnya ditentukan nilai eigen untuk menganalisis kestabilan titik tetapnya. Untuk titik tetap yang tidak dapat dicari solusinya dengan menggunakan pelinearan, maka dicari dengan menggunakan metode kuantitatif dengan menganalisis dinamika di sekitar titik asal menggunakan transformasi tertentu.

2 PEMODELAN

Model yang akan dianalisis pada tulisan ini dibuat berdasarkan *Basic Virus Infection Model* (BVIM) yang dikembangkan oleh Eikenberry *et al*. Dalam model ini disusun sistem persamaan diferensial yang menjelaskan β dinamika jumlah atau massa sel-sel sehat (x) dalam hal ini hepatosit, hepatosit yang terinfeksi (y), dan virus (v). Skema dari BVIM dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema diagram BVIM (*Basic Virus Infection Model*).

Pada Gambar 1 dijelaskan bahwa hepatosit sehat berkembang pada laju konstan r dan mati pada laju per kapita m . Infeksi hepatosit terjadi melalui proses interaksi sel hepatosit dan virus pada laju β . Hepatosit yang terinfeksi kemudian mati pada laju per kapita a . Setiap hepatosit yang terinfeksi menunjukkan pertumbuhan virus pada laju per kapita γ , yang mati pada laju per kapita μ . Masalah ini dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= r - mx(t) - \beta v(t)x(t), \\ \frac{dy}{dt} &= \beta v(t)x(t) - ay(t), \\ \frac{dv}{dt} &= \gamma y(t) - \mu v(t), \end{aligned} \tag{1}$$

dengan

- $x(t)$ banyaknya hepatosit sehat pada waktu t ,
- $y(t)$ banyaknya hepatosit yang terinfeksi pada waktu t ,
- $v(t)$ banyaknya virus pada waktu t ,
- r laju proliferasi hepatosit sehat,
- m laju kematian hepatosit sehat,
- β laju interaksi hepatosit sehat dengan virus,
- a laju kematian hepatosit yang terinfeksi,
- γ laju pertumbuhan virus yang dilihat dari hepatosit yang terinfeksi,
- μ laju kematian virus.

Model yang akan dianalisis pada tulisan ini merupakan model yang dibuat berdasarkan model (1) dengan beberapa perubahan. Pada pertumbuhan hepatosit sehat digunakan fungsi logistik, ini bertujuan agar lebih realistis dalam menggambarkan pertumbuhan populasi hepatosit. Hepatosit merupakan sel yang berumur panjang dengan waktu paruh lebih dari 6 bulan, sehingga laju kematian hepatosit dihilangkan. Aktivitas proliferasi pada hepatosit

hanya terjadi ketika massa hati berkurang dan tidak terjadi terus menerus melainkan hanya sampai pada ukuran maksimal hati (ukuran homeostatik hati). Masalah ini dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= rx(t) \left(1 - \frac{T(t)}{K}\right) - \frac{\beta v(t)x(t)}{T(t)}, \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{\beta v(t)x(t)}{T(t)} - ay(t), \\ \frac{dv}{dt} &= \gamma y(t) - \mu v(t),\end{aligned}\tag{2}$$

dengan

$$T(t) = x(t) + y(t),$$

dan K ukuran homeostatik hati. Semua parameter pada persamaan (2) adalah positif.

Dalam tulisan ini, diasumsikan bahwa pada kondisi awal telah terjadi infeksi pada hati sehingga nilai awal untuk sistem persamaan (3.2) dimisalkan dalam bentuk

$$x(0) = x_0, y(0) = y_0, v(0) = v_0$$

dan diasumsikan

$$K \geq T(0)$$

dengan $x_0, y_0,$ dan v_0 bernilai positif.

3 ANALISIS MODEL

3.1 Penentuan Titik Tetap

Titik tetap dari persamaan (2) ditentukan dengan menetapkan $\dot{x} = 0, \dot{y} = 0,$ dan $\dot{v} = 0$ sehingga dihasilkan tiga titik tetap, yaitu $E_f = (K, 0, 0), E^* = (x^*, y^*, v^*),$ dan $E_0 = (0, 0, 0)$ dengan

$$\begin{aligned}x^* &= \frac{-Ka(-r\mu + \beta\gamma - a\mu)}{r\beta\gamma} \\ y^* &= \frac{-K(-r\mu + \beta\gamma - a\mu)(\beta\gamma - a\mu)}{r\beta\gamma\mu} \\ v^* &= \frac{-K(-r\mu + \beta\gamma - a\mu)(\beta\gamma - a\mu)}{r\beta\mu^2}\end{aligned}$$

3.2 Analisis Kestabilan Titik Tetap

Dengan melakukan pelinearan pada persamaan (2), maka diperoleh matriks Jacobi sebagai berikut:

$$J_{(x,y,v)} = \begin{pmatrix} r \left(1 - \frac{x+y}{K}\right) - \frac{rx}{K} - \frac{\beta v}{x+y} + \frac{\beta vx}{(x+y)^2} & -\frac{rx}{K} + \frac{\beta vx}{(x+y)^2} & -\frac{\beta x}{x+y} \\ \frac{\beta v}{x+y} - \frac{\beta vx}{(x+y)^2} & -\frac{\beta vx}{(x+y)^2} - a & \frac{\beta x}{x+y} \\ 0 & \gamma & -\mu \end{pmatrix} \quad (3)$$

3.2.1 Analisis Kestabilan untuk E_f

Titik tetap E_f menyatakan kondisi hati yang sehat. Kestabilan sistem di titik tetap $E_f(K, 0, 0)$ diperoleh dengan memasukkan titik tetap $E_f(K, 0, 0)$ ke persamaan (3) sehingga dihasilkan nilai eigen untuk matriks Jacobi $J_{(K,0,0)}$ adalah

$$\lambda_1 = -r$$

$$\lambda_{2,3} = -\frac{1}{2}(a + \mu) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(a + \mu)^2 - 4(a\mu - \beta\gamma)}$$

Pada kondisi $a\mu > \beta\gamma$ atau $\frac{\beta\gamma}{a\mu} < 1$, maka $\lambda_{2,3}$ bernilai negatif. Sedangkan pada kondisi $\mu < \beta\gamma$ atau $\frac{\beta\gamma}{a\mu} > 1$, maka $\lambda_{2,3}$ bernilai positif. Selanjutnya, notasikan

$$R = \frac{\beta\gamma}{a\mu}$$

Pada saat $R < 1$, maka λ_1, λ_2 dan λ_3 bernilai negatif sehingga E_f stabil lokal asimtotik. Pada saat $R > 1$, maka salah satu nilai eigen bernilai positif sehingga titik tetap menjadi tak stabil. Karena nilai R mempengaruhi kestabilan, maka dapat dikatakan R adalah bilangan reproduksi dasar atau $R_0 = R$.

3.2.2 Analisis Kestabilan untuk E^*

Titik tetap E^* menyatakan terjadinya infeksi HBV kronis. Titik tetap E^* diberikan oleh

$$x^* = \frac{Ka}{r} \left(\frac{R^*}{R_0} - 1 \right), \quad (4)$$

$$y^* = \frac{Ka}{r} \left(\frac{R^*}{R_0} - 1 \right) (R_0 - 1), \quad (5)$$

$$v^* = \frac{K\gamma a}{r\mu} \left(\frac{R^*}{R_0} - 1 \right) (R_0 - 1), \quad (6)$$

dengan

$$R^* = \frac{r + a}{a}.$$

Matriks Jacobi untuk titik tetap E^* adalah

$$J_{(x^*, y^*, v^*)} = \begin{pmatrix} r \left(1 - \frac{2x^* + y^*}{K} \right) - \frac{\beta v^* y^*}{(x^* + y^*)^2} & -\frac{rx^*}{K} + \frac{\beta v^* x^*}{(x^* + y^*)^2} & -\frac{\beta x^*}{x^* + y^*} \\ \frac{\beta v^* y^*}{(x^* + y^*)^2} & -\frac{\beta v^* x^*}{(x^* + y^*)^2} - a & \frac{\beta x^*}{x^* + y^*} \\ 0 & \gamma & -\mu \end{pmatrix}.$$

Misalkan

$$\delta = a^2 R_0 \left(\frac{R^*}{R_0} - 1 \right) + a\mu \left(\frac{R^*}{R_0} - 1 \right) - ar$$

$$\sigma = -\frac{(a^3 R^* + a^2 \mu R_0)(R^* - R_0)}{\mu R_0 + aR^*}$$

Jika $\delta > \sigma$, maka E^* stabil lokal asimtotik. Berdasarkan kriteria Routh-Hurwitz, kondisi kestabilan untuk titik tetap E^* ketika $\delta > \sigma$ yaitu stabil lokal asimtotik. Sedangkan pada kondisi $\delta < \sigma$, kestabilan titik tetap E^* adalah tak stabil, sehingga memungkinkan terjadinya bifurkasi Hopf pada kondisi $\delta = \sigma$.

3.2.3 Transformasi dan hasil untuk E_0

Kestabilan E_0 tidak dapat diperoleh dengan menggunakan cara sebelumnya. Untuk mengatasi kesulitan ini, digunakan transformasi yang dilakukan oleh [5], [6] dan [7]. Transformasi yang digunakan bertujuan agar diperoleh kestabilan global pada daerah yang ada di sekitar E_0 . Dengan mendefinisikan variabel

$$z = \frac{y}{x}, \quad w = \frac{v}{x},$$

maka transformasi akan mengubah variabel (x, y, v) ke (x, z, w) . Transformasi ini mengubah sistem persamaan (2) menjadi sistem persamaan berikut:

$$\frac{dx}{dt} = rx(t) \left(1 - \frac{x(t)(1+z(t))}{K} \right) - \frac{\beta w(t)x(t)}{1+z(t)} \quad (7)$$

$$\frac{dz}{dt} = \beta w(t) - az(t) - rz(t) \left(1 - \frac{x(t)(1+z(t))}{K} \right) \quad (8)$$

$$\frac{dw}{dt} = \gamma z(t) - \mu w(t) - rw(t) \left(1 - \frac{x(t)(1+z(t))}{K} \right) + \frac{\beta w(t)^2}{1+z(t)} \quad (9)$$

Titik tetap sistem persamaan (7)-(9) adalah

$$U_0 = (0,0,0),$$

$$U_n = (0, z_n, w_n),$$

$$U_f = (K, 0, 0),$$

$$U^* = \left(x^*, \frac{y^*}{x^*}, \frac{v^*}{x^*} \right)$$

dengan

$$z_n = \frac{R^* \left(1 + \frac{r}{\mu} \right) - R_0}{R^* \left(\frac{a}{\mu} - 1 \right) + R_0},$$

$$w_n = \frac{a+r}{\beta} z_n,$$

serta x^* , y^* dan v^* diberikan oleh (4)–(6).

Dengan melakukan analisis terhadap titik tetap, maka diperoleh kestabilan untuk U_0 adalah tak stabil dan kestabilan untuk U_n adalah stabil. Sedangkan kondisi kestabilan untuk titik tetap U_f dan U^* sama dengan kondisi kestabilan untuk E_f dan E^* .

Berikut ini adalah tabel kondisi kestabilan ketiga titik tetap yang diperoleh. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kondisi kestabilan dari titik tetap yang diperoleh tidak mungkin stabil secara bersamaan.

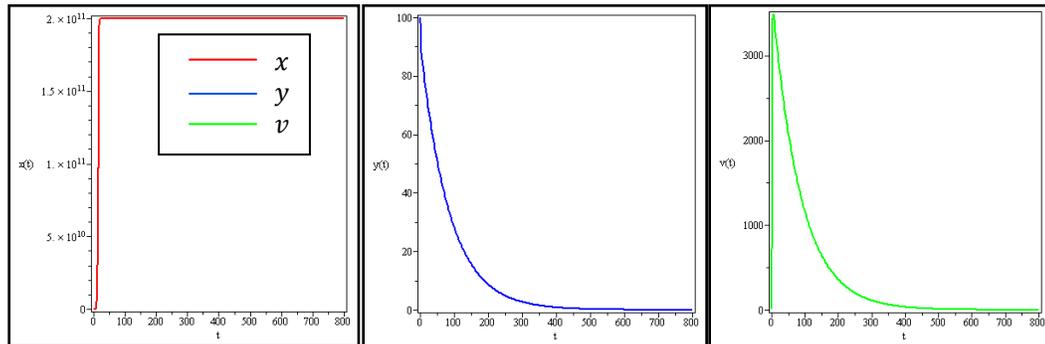
Tabel 1 Kondisi kestabilan titik tetap

Kasus	Kondisi	$E_0(0,0,0)$	$E_f(K, 0,0)$	$E^*(x^*, y^*, v^*)$
1	$R_0 < 1, \mu > a, \delta > \sigma$ $R_0 < \left(\frac{r}{\mu} + 1\right) R^*, R_0 < \left(1 - \frac{a}{\mu}\right) R^*$	Sadel	Stabil	Sadel
2	$R_0 > 1, \mu > a, \delta > \sigma$ $R_0 < \left(\frac{r}{\mu} + 1\right) R^*, R_0 < \left(1 - \frac{a}{\mu}\right) R^*$	Sadel	Sadel	Spiral stabil
3	$R_0 > 1, \mu > a, \delta < \sigma$ $R_0 < \left(\frac{r}{\mu} + 1\right) R^*, R_0 < \left(1 - \frac{a}{\mu}\right) R^*$	Sadel	Sadel	Spiral tak stabil
4	$R_0 > 1, \mu > a, \delta < \sigma$ $R_0 > \left(\frac{r}{\mu} + 1\right) R^*, R_0 > \left(1 - \frac{a}{\mu}\right) R^*$	Stabil	Sadel	Sadel

4 SIMULASI

4.1 Dinamika Populasi Pertumbuhan Hepatosit untuk Kasus 1.

Pada proses penggambaran ini diambil nilai parameter yaitu $r = 1, K = 2 \cdot 10^{11}, \beta = 0.0014, a = 0.0693, \mu = 0.693$ dan $\gamma = 28$. Nilai awal yang diberikan pada kasus ini adalah $x = 100.000, y = 100$ dan $v = 10$. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 2.



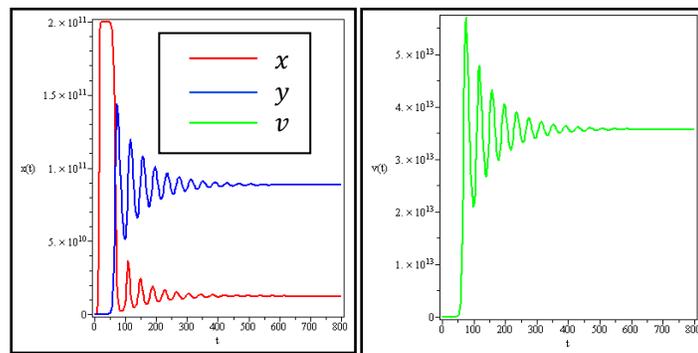
Gambar 2 Dinamika populasi x, y dan v terhadap t dengan $\gamma = 28$ dan $\beta = 0.0014$.

Populasi sel hepatosit sehat mula-mula meningkat secara perlahan, namun pada saat tertentu sel hepatosit mengalami peningkatan secara cepat. Hal ini disebabkan karena penurunan sel hepatosit yang terinfeksi dan populasi virus. Pada awalnya virus menyerang sel hepatosit sehat sehingga menghasilkan sel hepatosit terinfeksi pada kondisi awal. Pada saat

mencapai titik maksimum, populasi virus mengalami penurunan yang menyebabkan populasi sel hepatosit yang terinfeksi juga mengalami penurunan menuju nilai nol. Sehingga populasi sel hepatosit sehat meningkat tanpa adanya infeksi virus hingga menuju suatu nilai maksimum K .

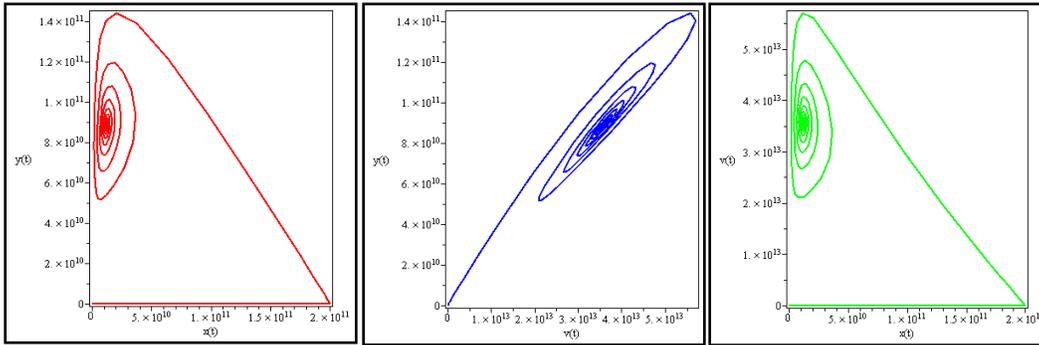
4.2 Dinamika Populasi Pertumbuhan Hepatosit untuk Kasus 2.

Pada proses penggambaran ini diambil nilai parameter yaitu $r = 1$, $K = 2 \cdot 10^{11}$, $\beta = 0.0014$, $a = 0.0693$, $\mu = 0.693$ dan $\gamma = 280$. Nilai awal yang diberikan pada kasus ini adalah $x = 100.000$, $y = 100$ dan $v = 10$. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Dinamika populasi x, y dan v terhadap t dengan $\gamma = 280$ dan $\beta = 0.0014$.

Populasi sel hepatosit sehat mula-mula meningkat secara cepat, namun pada saat tertentu sel hepatosit sehat mengalami penurunan akibat meningkatnya populasi virus. Peningkatan pada populasi virus akan menyebabkan terjadinya peningkatan pada populasi sel hepatosit yang terinfeksi. Pada jangka panjang populasi sel hepatosit sehat, populasi sel yang terinfeksi dan populasi virus berisolasi secara periodik. Ini berarti terdapat populasi virus yang dapat menginfeksi secara kontinu. Setiap terjadi penurunan populasi sel hepatosit sehat, maka populasi virus akan meningkat secara bersamaan dengan meningkatnya populasi sel yang terinfeksi. Meningkatnya populasi sel hepatosit sehat, populasi sel yang terinfeksi dan populasi virus semakin bertambahnya waktu semakin kecil dan stabil menuju titik tertentu.

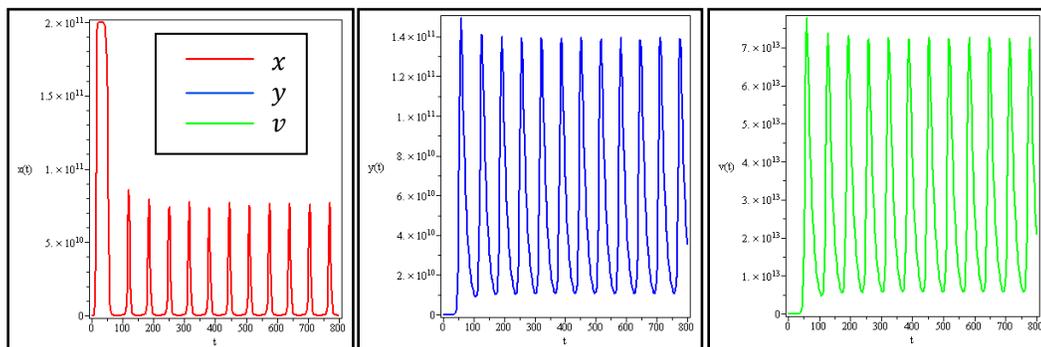


Gambar 4 Bidang fase untuk kondisi $\delta > \sigma$.

Pada Gambar 4 terlihat hubungan antara hepatosit sehat, hepatosit yang terinfeksi dan virus. Kondisi ini menunjukkan kondisi hati yang kronis. Infeksi virus terjadi secara terus menerus hingga mencapai nilai tertentu dalam jangka panjang. Ini menunjukkan adanya kestabilan menuju ke suatu titik tertentu.

4.3 Dinamika Populasi Pertumbuhan Hepatosit untuk Kasus 3.

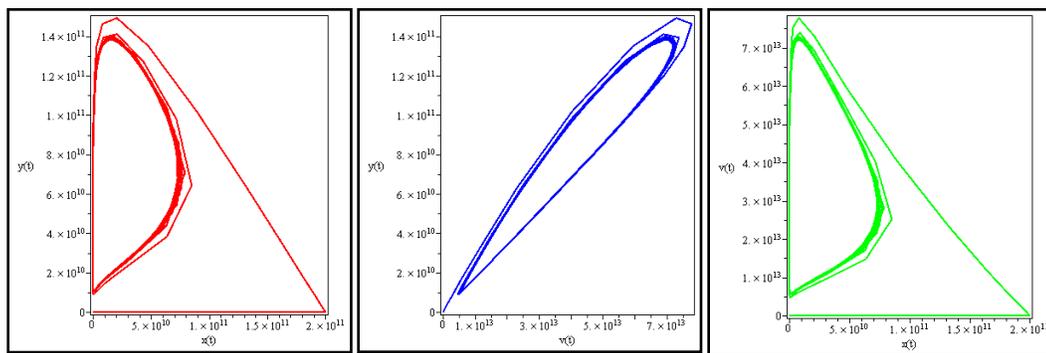
Pada proses penggambaran ini diambil nilai parameter yaitu $r = 1$, $K = 2 \cdot 10^{11}$, $\beta = 0.0014$, $a = 0.0693$, $\mu = 0.693$ dan $\gamma = 370$. Nilai awal yang diberikan pada kasus ini adalah $x = 100.000$, $y = 100$ dan $v = 10$. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Dinamika populasi x , y dan v terhadap t dengan $\gamma = 370$ dan $\beta = 0.0014$.

Populasi sel hepatosit sehat mula-mula meningkat sangat cepat sampai pada saat tertentu populasi sel hepatosit sehat ini mencapai ukuran maksimal hati. Kemudian populasi sel hepatosit sehat ini menurun dengan cepat pula akibat pertumbuhan virus yang cepat. Virus yang menyerang sel hepatosit sehat ini menyebabkan peningkatan pada populasi hepatosit yang terinfeksi. Pada jangka panjang populasi sel hepatosit sehat, populasi sel

hepatosit yang terinfeksi dan populasi virus berisolasi secara periodik. Ini berarti terdapat populasi virus yang dapat menginfeksi secara kontinu. Setiap terjadi penurunan populasi sel hepatosit sehat, maka populasi virus akan meningkat secara bersamaan dengan meningkatnya populasi sel yang terinfeksi. Begitu juga sebaliknya, jika populasi sel hepatosit sehat meningkat, maka kondisi ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan pada populasi virus dan populasi sel hepatosit yang terinfeksi. Hal ini terjadi terus menerus tanpa menuju ke suatu titik tertentu, hanya saja semakin bertambahnya waktu, maka peningkatan dan penurunan populasi berada di sekitar titik tertentu tanpa menuju ke titik tersebut. Ini menggambarkan kondisi hepatitis yang kronis.

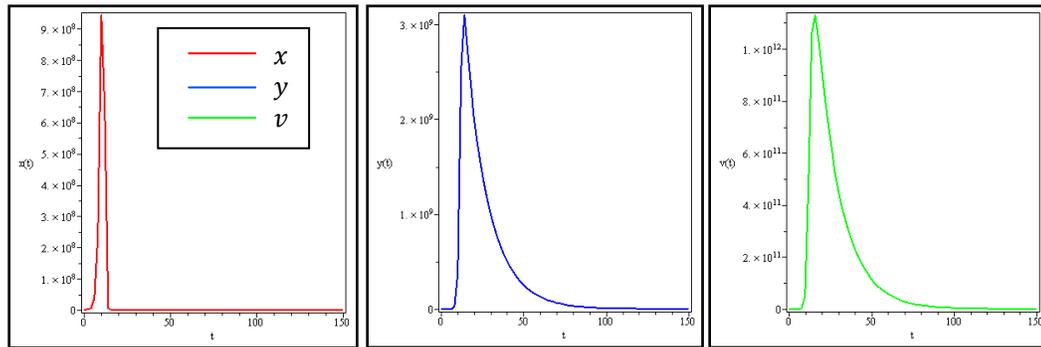


Gambar 6 Bidang fase untuk kondisi $\delta < \sigma$.

Pada Gambar 6 terlihat hubungan antara hepatosit sehat, hepatosit yang terinfeksi dan virus. Hubungan ini menunjukkan bahwa populasi tidak menuju ke suatu titik tertentu, tetapi berisolasi secara terus menerus. Ini menunjukkan adanya *limit cycle*. Secara fisik, dinamika ini menunjukkan bahwa terjadi infeksi hepatitis yang kronis.

4.4 Dinamika Populasi Pertumbuhan Hepatosit untuk Kasus 4.

Pada proses penggambaran ini diambil nilai parameter yaitu $r = 1$, $K = 2 \cdot 10^{11}$, $\beta = 0.014$, $a = 0.0693$, $\mu = 0.693$ dan $\gamma = 280$. Nilai awal yang diberikan pada kasus ini adalah $x = 100.000$, $y = 100$ dan $v = 10$. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Dinamika populasi x, y dan v terhadap t dengan $\gamma = 280$ dan $\beta = 0.014$.

Sel hepatosit sehat mula-mula mengalami peningkatan secara cepat, namun seiring berjalannya waktu populasi sel hepatosit sehat menurun akibat meningkatnya populasi virus yang diiringi dengan meningkatnya populasi sel yang terinfeksi. Pada jangka panjang populasi sel hepatosit sehat menurun karena tingginya laju infeksi virus sehingga populasi sel hepatosit sehat menuju nilai nol. Menurunnya populasi sel sehat hingga menuju nilai nol menyebabkan penurunan pada populasi sel yang terinfeksi dan juga penurunan pada populasi virus hingga menuju nilai nol karena sudah tidak ada lagi sel hepatosit yang dapat diinfeksi. Pada kondisi ini dapat dilihat bahwa kestabilan menuju ke titik $E_0(0,0,0)$.

4 SIMPULAN

Dari hasil analisis terhadap model infeksi virus hepatitis B diperoleh tiga titik tetap yaitu E_f , E^* , dan E_0 . Titik tetap E_f dan E^* dianalisis dengan menggunakan pelinearan dan matriks Jacobi. Sedangkan untuk titik tetap E_0 dianalisis dengan melakukan transformasi ke bentuk persamaan diferensial baru. Dengan memilih nilai parameter model, terdapat suatu kondisi yang menyebabkan perubahan kestabilan dari spiral stabil menjadi spiral tak stabil yaitu pada saat menurunkan laju kematian virus. Setelah dilakukan simulasi terhadap model terdapat *limit cycle*, ini menunjukkan bahwa terjadi bifurkasi Hopf.

Dari hasil simulasi yang diperoleh, dengan memilih nilai parameter yang berbeda dapat terlihat hilang atau tidaknya suatu infeksi virus. Misalkan pada simulasi pertama dengan laju pertumbuhan virus yang kecil, hasil simulasi menunjukkan bahwa populasi hepatosit sehat menuju ke suatu nilai yang sangat besar yaitu ukuran maksimal hati. Sedangkan populasi hepatosit yang terinfeksi dan populasi virus berkurang hingga pada

akhirnya habis. Pada simulasi kedua dan ketiga dengan meningkatkan laju pertumbuhan virus, hasil simulasi menunjukkan bahwa hati dalam keadaan kronis karena infeksi virus terjadi secara kontinu. Hasil simulasi keempat dengan meningkatkan laju interaksi hepatosit dengan virus menunjukkan terjadinya kegagalan hati. Hal ini ditunjukkan dengan melihat dinamika populasi hepatosit sehat, hepatosit yang terinfeksi dan virus dalam jangka panjang ketiganya habis.

Hasil yang diperoleh pada tulisan ini sama dengan hasil yang diperoleh Eikenberry *et al.* (2010). Pada tulisan ini ditambahkan beberapa hal antara lain skema diagram BVIM yang menjelaskan proses infeksi virus hepatitis B serta penambahan tabel kestabilan titik tetap yang merangkum semua kondisi kestabilan yang mungkin terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arguin PM, Kozarsky PE, Reed C. 2007. *CDC Health Information for International Travel 2008*. Philadelphia: Elsevier.
- [2] Nowak MA, Bonhoeffer S, Hill AM, Boehme R, Thomas HC, McDade H. 1996. Viral Dynamics in Hepatitis B Virus Infection. *Proc Natl Acad Sci USA* 93: 4398-4402.
- [3] Nowak MA, May RM. 2000. *Virus Dynamics*. Oxford: Oxford University Press.
- [4] Eikenberry S, Hews S, Nagy JD, Kuang Y. 2010. Rich Dynamics of A Hepatitis B Viral Infection Model with Logistic Hepatocyte Growth. *Math Biol Eng* 60:573-590.
- [5] Hwang TW, Kuang Y. 2003. Deterministic Extinction Effect of Parasites on Host Populations. *J Math Biol* 46:17-30.
- [6] Hsu SB, Hwang TW, Kuang Y. 2001. Global Analysis of The Michaelis-Menten-Type-Ratio-Dependent Predator-Prey System. *J Math Biol* 42:489-506.
- [7] Berezovsky F, Karev G, Castillo-Chavez C. 2005. A Simple Epidemic Model With Surprising Dynamics. *Math Biol Eng* 2:133-152.

PENGARUH DIVIDEN TERHADAP PENENTUAN NILAI OPSI SAHAM TIPE *UP-AND-OUT CALL* DI BURSA EFEK INDONESIA

Jacob Stevy Seleky^{1*}, Ender H. Nugrahani², I Gusti Putu Purnaba³

Universitas Pelita Harapan, Tangerang^{1*}

Jacobian_07@yahoo.com

Institut Pertanian Bogor, Bogor²

Institut Pertanian Bogor, Bogor³

ABSTRAK

Kontrak opsi saham adalah efek yang memuat opsi *call* yang memberikan hak kepada pemegang opsi untuk membeli sejumlah tertentu dari sebuah instrumen yang menjadi dasar kontrak dalam jangka waktu dan harga tertentu. Beberapa penelitian mengenai kontrak opsi saham di Bursa Efek Indonesia telah dilakukan untuk menentukan nilai kontrak opsi saham dengan memperhitungkan faktor-faktor yang mempengaruhinya secara langsung. Model Black-Scholes adalah model kontinu yang dibuat untuk menentukan nilai dari opsi tipe Eropa. Sedangkan untuk menentukan nilai opsi tipe Amerika digunakan metode *binomial tree*. Dalam paper ini akan ditunjukkan bahwa nilai pendekatan numerik dari model diskret dengan metode *binomial tree* akan mendekati nilai dari model kontinu Black-Scholes. Hasil dari simulasi yang dilakukan sesuai dengan teori yang sudah dikembangkan, yaitu nilai dari opsi saham tipe *up-and-out call* Amerika lebih murah dibandingkan dengan nilai dari opsi *call reguler* tipe Amerika. Dan pembagian dividen memberikan pengaruh negatif terhadap nilai opsi *call*.

Katakunci: model Black-Scholes, metode *binomial tree*, opsi tipe *up-and-out call*, dividen.

1 PENDAHULUAN

Opsi saham adalah salah satu produk derivatif yang digunakan oleh pelaku pasar sebagai instrumen untuk tujuan mendapatkan keuntungan ataupun untuk melindungi asetnya dari kejatuhan harga serta menghindari terjadinya kerugian yang lebih besar. Di Indonesia opsi saham mulai diperdagangkan pada Oktober 2004 dengan saham acuan adalah PT Telekomunikasi Indonesia, PT Astra Internasional, PT Bank Central Asia, PT Indofood Sukses Makmur dan PT HM Sampoerna. Opsi saham di Indonesia kemudian dikenal sebagai kontrak opsi saham.

Kontrak Opsi Saham (KOS) adalah efek yang memuat opsi *call* atas saham perusahaan tercatat yang menjadi saham dasar dalam perdagangan seri KOS. Opsi *call* memberikan hak kepada pemegang opsi untuk membeli sejumlah tertentu dari sebuah instrumen yang menjadi dasar kontrak tersebut. Untuk mengeksekusi haknya, pemegang opsi

dapat menggunakan opsi tipe Amerika atau tipe Eropa. Pada opsi tipe Amerika pemegang opsi dapat mengeksekusi haknya setiap saat hingga waktu jatuh tempo, sedangkan opsi tipe Eropa hanya memberikan kesempatan kepada pemegang opsi untuk mengeksekusi haknya pada waktu jatuh tempo. Nilai kontrak opsi saham selain bergantung pada pergerakan harga saham yang menjadi aset dasarnya, juga dipengaruhi oleh *barrier* (batas) sebagai pengendali keuntungan dan kerugian, serta pembagian dividen atau pembagian keuntungan yang diperoleh perusahaan setahun sekali untuk setiap pemegang saham.

Penelitian terdahulu mengenai opsi saham di Bursa Efek Indonesia (BEI) antara lain mengenai pendekatan analitik untuk menentukan nilai opsi saham di Bursa Efek Indonesia berdasarkan asumsi model Black-Scholes [1]. Sedangkan penelitian lain mengenai pendekatan diskret dan numerik dengan metode *binomial tree* dalam penentuan nilai opsi saham [2,3].

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kajian secara teoritis penentuan nilai opsi *call* tipe Eropa serta pengaruh dividen melalui pendekatan model Black-Scholes. Selain itu juga dilakukan pengkajian teoritis metode *binomial tree* dalam penentuan nilai opsi *call barrier* dengan dividen tunggal, kemudian melakukan kajian secara numerik untuk melihat kekonvergenan metode *binomial tree* terhadap model Black-Scholes nilai opsi *call* tipe Eropa. Selanjutnya menggunakan metode *binomial tree* untuk mengetahui pengaruh pembagian dividen terhadap nilai opsi *barrier* tipe *up-and-out call* di Bursa Efek Indonesia.

2 MODEL DAN METODE

2.1 Model Black-Scholes

Model Black-Scholes dalam penentuan nilai opsi merupakan suatu model pendekatan analitik untuk kasus kontinu yang diperkenalkan pada awal tahun 1970-an oleh Fischer Black, Myron Scholes dan Robert Merton. Formula berdasarkan model Black-Scholes untuk menentukan nilai opsi *call* tipe Eropa secara analitik diberikan sebagai berikut [4].

$$C = S_0 N(d_1) - Ke^{-rt} N(d_2) \quad (1)$$

dengan $d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}}$ dan $d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$, C = opsi *call*, S_0 = harga saham, K = harga eksekusi, r = tingkat suku bunga bebas resiko, σ = volatilitas, T = waktu jatuh tempo.

Kegunaan praktis dari model Black-Scholes adalah untuk menentukan nilai opsi tanpa dividen, tetapi dalam kenyataannya hampir semua saham membayarkan dividen. Dividen adalah pembagian laba kepada pemegang saham berdasarkan banyaknya saham yang dimiliki. Harga saham merupakan gabungan komponen bebas risiko dan komponen berisiko. Formula Black-Scholes dapat digunakan untuk saham dengan dividen apabila harga saham yang dimodelkan diubah dengan dikurangi nilai *present value* (Pv) semua dividen (D) sehingga menjadi S_0^* yaitu harga saham baru setelah dikurangi *present value*. Akibatnya nilai opsi *call* tipe Eropa untuk saham yang membayarkan dividen juga ikut berubah. Proses perubahan tersebut ditunjukkan sebagai berikut.

$$Pv = De^{-rT} \text{ dan } S_0^* = S_0 - Pv \quad (2)$$

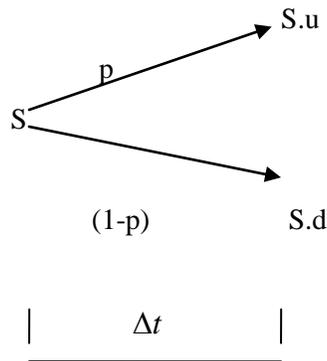
Sehingga diperoleh

$$C^* = S_0^*N(d_1^*) - Ke^{-rT}N(d_2^*) \quad (3)$$

dengan $d_1^* = \frac{\ln\left(\frac{S_0^*}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}}$ dan $d_2^* = d_1^* - \sigma\sqrt{T}$.

2.2 Metode Binomial Tree

Model *binomial tree* untuk menentukan nilai opsi merupakan suatu metode diskrit yang dapat merepresentasikan nilai pendekatan yang wajar untuk kasus kontinu. Model penentuan nilai opsi dengan metode *binomial tree* memberikan asumsi bahwa sepanjang waktu tertentu yang diberikan, saham dasar hanya dapat bergerak naik atau bergerak turun. Konstruksi dari pergerakan harga saham dasar diilustrasikan [4].



Gambar 1 Ilustrasi pergerakan harga saham dasar.

Dari Gambar 1 misalkan selang waktu $[0, T]$ dibagi menjadi N sub selang yang sama panjang dengan titik bagi $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_N = T$ dengan $\Delta t = \frac{T}{N}$. Pada waktu $t = 0$ harga saham adalah S , setelah waktu berubah (Δt), harga saham dapat naik menjadi $S.u$ dengan kemungkinan p atau turun menjadi $S.d$ dengan kemungkinan $q = 1 - p$, di mana $u > 1$ dan $0 < d < 1$. Menurut Cox, Ross, Rubinstein (1979) karena $ud = 1$, maka Nilai parameter adalah sebagai berikut [5]

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}, \quad d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}, \quad \text{dan} \quad p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d}. \quad (4)$$

Perhitungan nilai opsi dengan metode *binomial tree* pada waktu jatuh tempo menggunakan formula $\max[(S_n - K), 0]$ untuk kondisi opsi *call*, dimana K = harga eksekusi dan S_n = harga saham. Sedangkan untuk menghitung nilai opsi pada *node* awal menggunakan metode *backward* dengan formula

$$V = e^{-nr \Delta t} \left(\sum_{i=0}^n \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} (S_n - K)^+ \right) \quad (5)$$

Untuk opsi tipe Eropa tidak ada pilihan untuk mengeksekusi di awal melainkan pada akhir. Untuk opsi tipe Amerika, jika opsi dihitung lebih awal atau sebelum waktu jatuh tempo, nilainya adalah: $\max[V, (S - K)]$. Jika ada asumsi pembagian dividen, maka metode *binomial tree* dapat digunakan untuk menganalisis pergerakan harga naik dan turun

mengikuti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Jika $i\Delta t$ adalah waktu setelah harga opsi saham menjadi ex-dividen maka *node* yang berkorespondensi dengan harga saham menjadi

$$S(1-\delta)\mu^j d^{i-j}, j = 0,1,\dots,i \quad (6)$$

Metode binomial tree juga dapat digunakan untuk menghitung nilai opsi *barrier*. Opsi *barrier* adalah opsi yang memiliki batas harga yang menentukan opsi tersebut tetap aktif bergerak atau menjadi tidak berharga apabila mencapai *barrier*.

2.3 Model Pengaruh Penentuan Nilai Opsi Call Barrier dengan Dividen di BEI

Perdagangan kontrak opsi saham di Bursa Efek Indonesia (BEI) memiliki spesifikasi bisnis yang berbeda dengan perdagangan opsi saham di beberapa bursa dunia. Otoritas BEI mengontrol dan memberikan aturan yang jelas mengenai perdagangan opsi yaitu dengan mengeluarkan surat pengumuman tentang nomor seri opsi *call* disertai penentuan harga *strike price*, batas *weighted moving average* (WMA) atau *barrier* saham dan waktu jatuh tempo (*expiration date*) selama tiga bulan sekali dalam setahun. Sebagai contoh nomor seri opsi saham dengan kode CINDF2275, C menyatakan *call option* yang masa berlakunya pada hari bursa terakhir bulan Maret, INDF menyatakan kode saham induk PT. Indofood Sukses Makmur Tbk, sedangkan angka 2275 merupakan harga *strike price*.

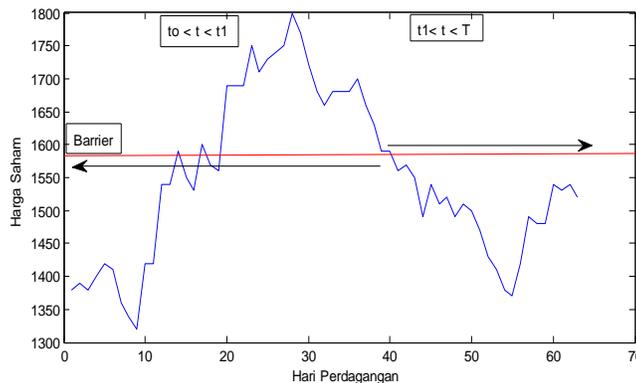
Pergerakan harga saham di BEI untuk perdagangan opsi saham diformulasikan ke dalam pergerakan harga saham secara *weighted moving average* (WMA). KOS termasuk tipe opsi Amerika dimana pemegang kontrak mempunyai hak pada setiap saat sampai dengan waktu jatuh tempo (T) untuk mengeksekusi opsi pada harga *strike price* yang diberikan dan mendapat pembayaran sebesar $(S - K)$, kecuali jika harga saham bergerak menyentuh *barrier*. Dalam kasus harga saham menyentuh *barrier* maka terjadi eksekusi otomatis dan pemilik opsi mendapatkan pembayaran sebesar $(B - K)$. KOS merupakan opsi *barrier* tipe *up-and-out call* yaitu opsi yang memiliki *barrier* di atas harga *underlying asset* atau harga suatu saham yang mendasari opsi tersebut. Pergerakan harga saham dasar dapat melalui dua kondisi

berbeda dari pergerakan harga opsi saham yang akan memengaruhi nilai premi dan *payoff* dari opsi [6], yaitu harga saham tidak menyentuh *barrier* sebelum waktu jatuh tempo, serta harga saham menyentuh *barrier* sebelum waktu jatuh tempo.

Selain itu, pergerakan harga saham dapat diformulasikan sebagai berikut,

$$S = \{S(t) : t \geq 0\} \begin{cases} t_0 \leq t \leq t_1 \\ t_1 \leq t \leq T \end{cases} \quad (7)$$

Pada saat harga saham bergerak dalam kurun waktu $t_0 \leq t \leq t_1$ diasumsikan tidak dikenai pembagian dividen. Sedangkan pada saat $t_1 \leq t \leq T$ pergerakan harga saham diasumsikan dikenai pembagian dividen, dengan t_1 adalah waktu pergerakan harga saham dikenai pembagian dividen. Untuk lebih jelasnya Gambar 2 berikut adalah ilustrasi pergerakan harga saham.



Gambar 2 Skenario pergerakan harga saham dasar.

Berdasarkan Gambar 2 di atas, dalam paper ini pergerakan harga saham dapat ditinjau dalam empat skenario seperti yang ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel 1 Skenario pergerakan harga saham dasar

		Kasus II	
		$S = \{S(t) : t \geq 0\}$	
		A: Tanpa dividen	B: Dengan dividen
		$t_0 \leq t \leq t_1$	$t_1 \leq t \leq T$
Kasus I			
I:	Tidak mencapai <i>barrier</i>	<u>Skenario I A</u>	<u>Skenario I B</u>
		Harga saham bergerak tidak mencapai <i>barrier</i> dan tidak dikenai dividen	Harga saham bergerak tidak mencapai <i>barrier</i> dan dikenai dividen
II:	Mencapai <i>barrier</i>	<u>Skenario II A</u>	<u>Skenario II B</u>
		Harga saham bergerak mencapai <i>barrier</i> dan tidak dikenai dividen	Harga saham bergerak mencapai <i>barrier</i> dan dikenai dividen

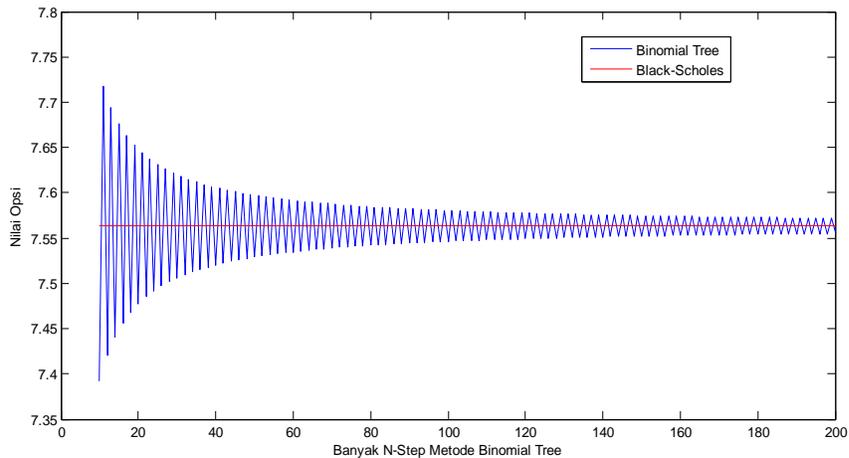
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter-parameter yang digunakan dalam melakukan simulasi adalah S = harga saham (*stock price*), K = harga eksekusi (*strike price*), B = *barrier* (batas), T = waktu jatuh tempo (*expiry date*), D = dividen, r = suku bunga bebas resiko (*riskfree interest rate*), σ = volatilitas, τ_D = waktu jatuh tempo dividen. Simulasi dilakukan dengan menggunakan sintaks Matlab.

3.1 Kekonvergenan Metode *Binomial Tree*

Kekonvergenan metode *binomial tree* merupakan suatu legitimasi untuk melakukan perhitungan dalam mencari nilai opsi *call* tipe Amerika. Untuk melakukan simulasi grafik

dan mencari nilai numerik digunakan parameter-parameter $S = 50$, $K = 50$, $r = 0.05$, $\sigma = 0.5$, $T = 0.5$, $N = 200$, diperoleh hasil yang disajikan dalam Gambar 3 dan Tabel 2.

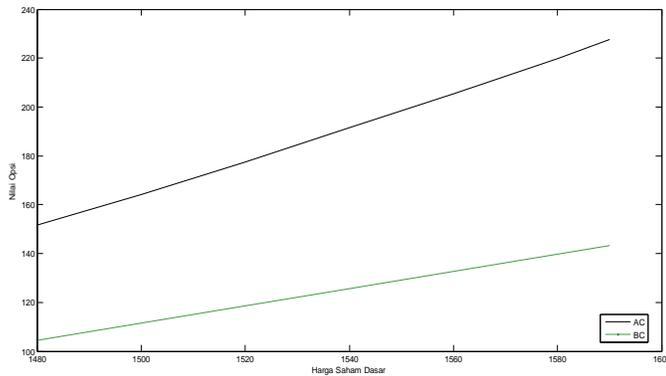


Gambar 3 Grafik kekonvergenan metode *binomial tree*.

Dari Gambar 3, garis lurus menunjukkan nilai Black-Scholes untuk opsi tipe *call* Eropa, sedangkan grafik osilasi menunjukkan nilai dari metode *binomial tree* opsi *call* tipe Eropa. Hasilnya menunjukkan bahwa grafik osilasi nilainya semakin mendekati garis lurus apabila *N-Step* bertambah [7]. Metode *binomial tree* yang adalah model diskret konvergen terhadap model kontinu Black-Scholes dalam penentuan nilai opsi *call* tipe Eropa.

3.2 Skenario I A

Skenario I A adalah skenario dimana harga saham tidak menyentuh *barrier* sampai masa jatuh tempo tanpa pembagian dividen. Parameter-parameter yang digunakan adalah nilai saham yang berubah dalam pergerakan naik $S_0 = \{1480, 1500, 1520, 1540, 1560, 1580, 1590\}$, $r = 9.50\%$, $\sigma = 40.48\%$, $T = 3/12$, $K = 1450$ dan $B = 1.1$, $K = 1595$. Hasil yang diperoleh diberikan dalam Gambar 4 berikut.

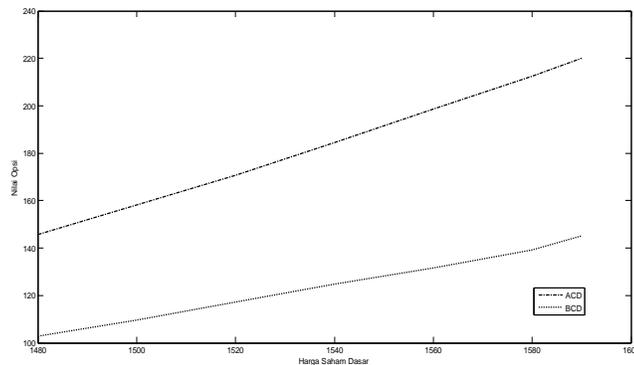


Gambar 4 Grafik skenario I A.

Pada Gambar 4 AC = opsi *call* Amerika, BC = opsi *up-and-out call* Amerika. Hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 4 adalah nilai opsi *call* naik seiring dengan kenaikan harga saham jika parameter yang lain dianggap konstan dan nilai opsi *barrier* tipe *up-and-out call* lebih murah dibandingkan nilai opsi *call* biasa.

3.3 Skenario I B

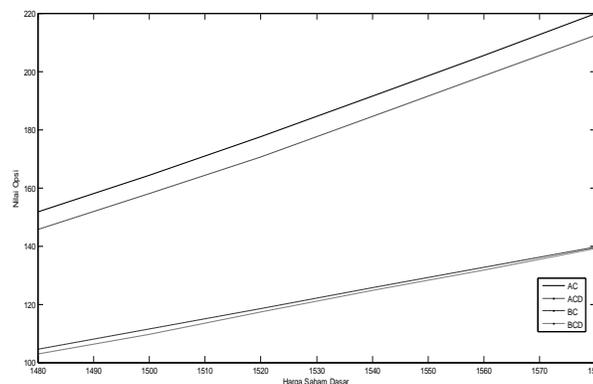
Skenario I B adalah skenario dimana harga saham tidak menyentuh barrier sampai masa jatuh tempo tetapi dikenai pembagian dividen. Parameter-parameter yang digunakan adalah nilai saham yang berubah dalam pergerakan naik $S_0 = \{1480, 1500, 1520, 1540, 1560, 1580, 1590\}$, $r = 9.50\%$, $\sigma = 40.48\%$, $T = 3/12$, $K = 1450$, $B = 1.1K = 1595$, $D = 10$, $\tau_D = 2/12$. Hasil yang diperoleh diberikan pada dalam Gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5 Grafik skenario I B.

Pada Gambar 5 ACD = opsi *call* Amerika dengan dividen, BCD = opsi *barrier* tipe *up-and-out call* Amerika dengan dividen. Hasil yang ditunjukkan Tabel 4 dan Gambar 5 adalah, pembagian dividen memberikan pengaruh negatif terhadap nilai opsi, kedua tipe opsi diatas mengalami penurunan baik opsi *call* Amerika maupun opsi *barrier* tipe *up-and-out call* Amerika. Nilai opsi *barrier* tipe *up-and-out call* Amerika dengan dividen lebih murah dibanding nilai opsi *call* Amerika dengan dividen.

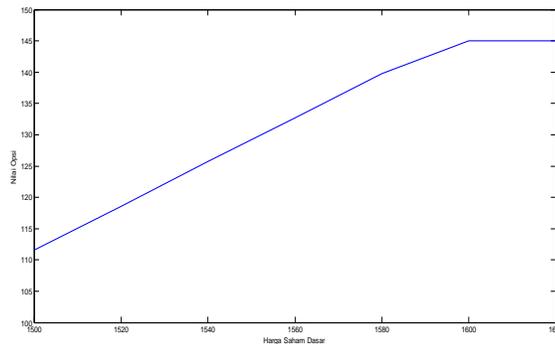
Untuk melihat dan menganalisis dengan lebih jelas perbandingan Skenario I A dan Skenario I B dapat melihat Gambar 6. Pada Gambar 6 di bawah ini dapat diketahui bahwa nilai opsi *call* Amerika tanpa dividen nilainya lebih tinggi dari nilai opsi *call* Amerika dengan dividen. Selain itu nilai opsi *barrier* tipe *up-and-out call* Amerika tanpa dividen nilainya lebih tinggi dari nilai opsi *barrier* tipe *up-and-out call* Amerika dengan dividen.



Gambar 6 Grafik perbandingan skenario I A dan I B.

3.4 Skenario II A

Skenario II A adalah skenario dimana pergerakan harga saham menyentuh *barrier* sebelum waktu jatuh tempo. Simulasi pada Skenario II A dilakukan dengan cara yang sama dengan skenario-skenario sebelumnya tetapi berbeda pada harga saham yaitu harga saham bergerak naik pada harga **1600** dan **1620** dimana nilainya melebihi *barrier* yang ditentukan. Proses perhitungan menggunakan parameter-parameter sebagai berikut, $S_0 = \{1500, 1520, 1540, 1560, 1580, 1600, 1620\}$, $r = 9.50\%$, $\sigma = 40.48\%$, $T = 3/12$, $K = 1450$, $B = 1.1K = 1595$. Hasil yang diperoleh ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7 Grafik nilai opsi berdasarkan skenario II A.

Hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 7 adalah sesuai dengan regulasi di Bursa Efek Indonesia, ketika harga saham $\geq barrier$, maka pemegang hak opsi mendapat *payoff* sebesar $(B - K)$, pada Tabel 5 ditunjukkan pada harga saham 1600 dan 1620. Sehingga hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 7, pada harga tersebut nilai opsi yang dihasilkan sama yaitu 145. Keunikan ini merupakan salah satu ciri khas dari perdagangan opsi saham yang berlaku di Bursa Efek Indonesia.

3.5 Skenario II B

Skenario II B adalah skenario dimana pergerakan harga saham menyentuh *barrier* dan dikenai dividen. Kondisi berdasarkan Skenario II B secara real sulit ditemukan karena berdasarkan regulasi di Bursa Efek Indonesia, ketika harga saham menyentuh *barrier* maka terjadi eksekusi secara otomatis dan pemegang hak opsi mendapatkan *payoff* sebesar $(B - K)$. Apabila kondisi ini terjadi maka pelaku pasar akan mengacu pada Skenario II A. Jika pergerakan harga saham dikenai dividen lebih dahulu maka pelaku pasar akan melakukan eksekusi awal sebelum pembagian dividen dan kondisi ini dapat mengacu pada Skenario I B, selain itu harga saham akan turun sehingga kemungkinan untuk mencapai *barrier* semakin sulit.

4 SIMPULAN

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini sesuai dengan teori yang sudah dikembangkan. Model diskrit metode binomial tree konvergen ke model kontinu Black-

Scholes untuk opsi call tipe Eropa apabila N-step yang diambil semakin besar. Nilai opsi call cenderung bertambah seiring dengan kenaikan harga saham. Nilai opsi barrier tipe up-and-out call lebih murah dari nilai opsi call biasa. Pembagian dividen memberikan pengaruh negatif terhadap nilai opsi call, karena dengan adanya pembagian dividen maka nilai saham menjadi berkurang dan akan mengurangi nilai opsi call. Opsi barrier tipe up-and-out call di Bursa Efek Indonesia mempunyai ciri khas tersendiri yaitu ketika harga saham lebih tinggi atau sama dengan barrier maka pemegang hak opsi mendapat payoff sebesar $(B - K)$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunardi, Vander Weide JAM, Subanar, Haryatmi S. 2006. *Indonesian Options Pricing*. Delft Institute of Applied Mathematics, The Netherlands.
- [2] Barone AG, Fusari N, Theal J. 2007. *Binomial Lattices for Barrier Options*. Swiss Finance Institute, University of Lugano.
- [3] Gilli M, Schumann E. 2009. *Implementing Binomial Trees*. Comisef Working Papers Series, Department of Econometrics, University of Geneva and Swiss Finance Institute.
- [4] Hull JC. 2006. *Options, Futures, and Other Derivatives*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- [5] Cox JC, Ross SA, Rubinstein M. 1979. Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics* 7(3), 229-263.
- [6] Derman E, Ergener D, Kani I. 1994. *Static Options Replication*. Quantitative Strategies Research Notes. Goldman Sachs.
- [7] Kind, A. 2011. *Binomial-Tree Option Pricing*. Quantitative Security Analysis, Course-Nr. 21996, University of Basel.

PENERAPAN *FUZZY GOAL PROGRAMMING* DALAM PENENTUAN INVESTASI BANK

Nurul Khotimah^{*)}, Farida Hanum, Toni Bakhtiar

Departemen Matematika FMIPA, Institut Pertanian Bogor
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
^{*)} nurulkhotimah99@googlemail.com

ABSTRAK

Investasi merupakan salah satu upaya untuk memperoleh keuntungan. Pengalokasian dana untuk investasi ke dalam banyak produk investasi yang tidak cermat dapat menimbulkan kerugian. Ada banyak produk investasi, baik yang berisiko maupun yang tidak berisiko. Pada umumnya, investasi berisiko menawarkan keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan investasi yang tidak berisiko. Dalam penelitian ini, penentuan investasi dana Bank AXN diselesaikan dengan bantuan metode *preemptive goal programming*, kemudian ditentukan solusi optimalnya dengan metode *fuzzy goal programming*. Dalam contoh implementasi diperoleh jenis-jenis investasi yang harus dipilih berikut nilai toleransinya yang memaksimalkan keuntungan.

Katakunci: investasi dana bank, *fuzzy goal programming*, *preemptive goal programming*

1 PENDAHULUAN

Bank memiliki peranan penting untuk keberlangsungan perekonomian di suatu Negara. Bank tidak hanya sebagai lembaga penghimpun dan penyedia dana saja, akan tetapi juga sebagai perantara keuangan masyarakat. Pada dasarnya, aktivitas utama manajemen bank ialah mengelola dana, baik mengatur dana yang masuk dari masyarakat dalam bentuk giro, deposito, dan tabungan maupun menyalurkannya dalam berbagai bentuk produk investasi. Keberhasilan dalam mengelola dana tersebut merupakan salah satu kunci sukses bagi manajemen bank dalam mengelola sebuah bank.

Manajemen dana berkaitan dengan masalah mengoptimalkan dana yang dihimpun dan mengalokasikan dana tersebut untuk mencapai tingkat profitabilitas yang tinggi dengan tetap menjaga agar posisi likuiditas tetap aman sehingga kepercayaan masyarakat terhadap bank tetap terjaga. Oleh karena itu, manajemen bank tidak terlepas dari permasalahan bagaimana memaksimalkan profit, meminimumkan aset berisiko, dan meminimumkan kecukupan modal.

2 GOAL PROGRAMMING

Goal programming adalah salah satu teknik untuk menyelesaikan masalah optimasi dengan tujuan lebih dari satu (multiobjektif). Model ini merupakan perluasan dari model pemrograman linear. Model *goal programming* memiliki sepasang variabel deviasi d_j^- dan d_j^+ yang taknegatif. Variabel d_j^- menampung deviasi yang berada di bawah sasaran ke- j sedangkan variabel d_j^+ merupakan nilai deviasi yang berada di atas sasaran ke- j . Variabel-variabel deviasi ini harus diminimumkan. Suatu tujuan ke- j dianggap berhasil bila variabel deviasi pada fungsi objektif tujuan ke- j bernilai 0 [1].

2.1 Preemptive Goal Programming

Preemptive goal programming adalah masalah *goal programming* dengan urutan prioritas meminimuman variabel deviasi. Untuk mengaplikasikan model ini, harus ditentukan peringkat tujuan mulai dari yang paling penting hingga tujuan yang tidak terlalu penting. Dalam [2], *preemptive goal programming* diselesaikan dengan aturan sebagai berikut:

- 1 prioritas tujuan ditentukan berdasarkan pada tingkat kepentingan tujuan; tujuan yang menjadi prioritas pertama akan diselesaikan terlebih dahulu, dan seterusnya
- 2 setelah tujuan pertama terpenuhi, maka fungsi tujuan pada prioritas pertama menjadi kendala tambahan pada prioritas kedua, begitu seterusnya sampai prioritas ke- n ,
- 3 jika tujuan pada prioritas pertama adalah meminimumkan, maka fungsi tujuan pada prioritas pertama akan menjadi kendala tambahan pada prioritas kedua dengan tanda pertaksamaan \leq , sedangkan jika tujuan pada prioritas pertama adalah memaksimumkan, maka fungsi tujuan pada prioritas pertama akan menjadi kendala tambahan pada prioritas kedua dengan tanda pertaksamaan \geq begitu seterusnya sampai prioritas ke- n ,
- 4 jika tidak diperoleh solusi fisibel pada prioritas ke- n , maka solusi optimal yang digunakan adalah solusi yang diperoleh pada prioritas ke- $(n-1)$.

2.2 Fuzzy Linear Goal Programming

Teori logika *fuzzy* merupakan perluasan dari teori himpunan tegas (*crisp*) yang menggunakan derajat keanggotaan $\{0, 1\}$ menjadi selang $[0, 1]$. Jika X adalah koleksi dari objek-objek yang dinotasikan dengan x , maka suatu himpunan *fuzzy* \tilde{A} dalam X adalah suatu himpunan pasangan berurutan $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}$ dengan $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1]$ adalah fungsi

keanggotaan dari suatu himpunan *fuzzy* \tilde{A} yang memetakan X ke ruang keanggotaan yang terletak pada selang $[0,1]$. Nilai fungsi $\mu_A(x)$ menyatakan derajat keanggotaan atau nilai keanggotaan dari x di himpunan \tilde{A} [3]. Fungsi keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* adalah suatu pemetaan dari suatu objek ke dalam derajat keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1.

Masalah *fuzzy goal programming* (FGP) adalah model *goal programming* dengan fungsi objektif dan fungsi kendala memiliki parameter dan pertaksamaan atau persamaan *fuzzy*. Parameter FGP memiliki derajat keanggotaan tertentu dalam selang $[0, 1]$ dan dinyatakan dalam pertaksamaan *fuzzy*, yaitu \succeq (hampir lebih besar atau sama dengan), atau \preceq (hampir lebih kecil atau sama dengan) atau persamaan *fuzzy*, yaitu \cong (hampir sama dengan). Model *fuzzy goal programming* dapat diformulasikan sebagai berikut:

Tentukan $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in R^n$ sehingga memenuhi fungsi tujuan

$$Z_k(X) \begin{bmatrix} \succeq \\ \preceq \end{bmatrix} g_k, k = 1, 2, \dots, K,$$

terhadap kendala

$$AX \begin{bmatrix} \succeq \\ \preceq \\ \cong \end{bmatrix} b, b = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T \in R^m$$

dengan X : vektor variabel keputusan, g_k : ketidaktepatan level aspirasi (nilai ruas kanan) ke- k dari tujuan $Z_k(X)$, $k = 1, 2, \dots, K$, A : matriks koefisien berordo $m \times n$, b : vektor nilai ruas kanan kendala, $Z_k(X) \begin{bmatrix} \succeq \\ \preceq \end{bmatrix} g_k$: tujuan *fuzzy* ke- k . Tanda \preceq merupakan bentuk *fuzzy* dari tujuan dan kendala tipe \leq , tanda \succeq merupakan bentuk *fuzzy* dari tujuan dan kendala tipe \geq dan tanda \cong merupakan bentuk *fuzzy* dari kendala tipe $=$ (Gupta dan Bhattacharya 2010b).

Fungsi tujuan maupun kendala yang *fuzzy* dapat dicirikan dengan fungsi keanggotaan masing-masing. Selanjutnya ditetapkan derajat tertinggi sebagai level aspirasi dari tujuan *fuzzy*. Fungsi tujuan *fuzzy* menggunakan level aspirasi yang bersifat tidak tepat. Model *fuzzy* ini perlu diubah ke dalam persamaan tegas (*crisp*) dengan menyubstitusikan fungsi tersebut pada fungsi keanggotaan *fuzzy* linear.

Jika p_k mendefinisikan toleransi untuk tujuan *fuzzy* ke- k yaitu konstanta taknegatif yang dipilih secara subjektif dari ketidaktepatan nilai g_k yang masih dapat diterima, maka

fungsi keanggotaan dari fungsi tujuan fuzzy $Z_k(X)$, dinyatakan dengan $\mu(Z_k(X))$, dapat digunakan untuk mendefinisikan tujuan fuzzy $Z_k(X)$ sebagai berikut:

- Fungsi keanggotaan tujuan fuzzy $Z_k(X) \gtrsim g_k, k = 1, 2, \dots, K$, didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu(Z_k(X)) = \begin{cases} 0, & \text{jika } Z_k(X) < g_k - p_k \\ \frac{Z_k(X) - (g_k - p_k)}{p_k}, & \text{jika } g_k - p_k \leq Z_k(X) < g_k \\ 1, & \text{jika } g_k \leq Z_k(X) \leq g_k + p_k \end{cases}$$

- Fungsi keanggotaan tujuan fuzzy $Z_k(X) \lesssim g_k, k = 1, 2, \dots, K$, didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu(Z_k(X)) = \begin{cases} 1, & \text{jika } g_k - p_k \leq Z_k(X) \leq g_k \\ \frac{(g_k + p_k) - Z_k(X)}{p_k}, & \text{jika } g_k < Z_k(X) \leq g_k + p_k \\ 0, & \text{jika } Z_k(X) > g_k + p_k \end{cases}$$

Jika $q_i (i = 1, 2, \dots, m)$ mendefinisikan toleransi untuk kendala fuzzy ke- i , yaitu konstanta taknegatif yang dipilih secara subjektif dari ketidaktepatan nilai b_i yang masih dapat diterima, maka fungsi keanggotaan dari kendala fuzzy $a_i(x)$ (a_i adalah baris ke- i dari matriks AX), dinyatakan dengan $\mu(a_i(x))$ dapat digunakan untuk mendefinisikan kendala fuzzy $a_i(x)$.

- Untuk kendala fuzzy $a_i(X) \gtrsim b_i, i = 1, 2, \dots, m$ (b_i adalah baris ke- i dari vektor b), fungsi keanggotaannya didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu(a_i(X)) = \begin{cases} 0, & \text{jika } a_i(X) < b_i - q_i \\ \frac{a_i(X) - (b_i - q_i)}{q_i}, & \text{jika } b_i - q_i \leq a_i(X) < b_i \\ 1, & \text{jika } b_i \leq a_i(X) \leq b_i + q_i \end{cases}$$

- fungsi keanggotaankendala fuzzy $a_i(X) \lesssim b_i, i = 1, 2, \dots, m$, didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu(a_i(X)) = \begin{cases} 1, & \text{jika } b_i - q_i \leq a_i(X) \leq b_i \\ \frac{(b_i + q_i) - a_i(X)}{q_i}, & \text{jika } b_i < a_i(X) \leq b_i + q_i \\ 0, & \text{jika } a_i(X) > b_i + q_i \end{cases}$$

dengan $b_i - q_i$ dan $b_i + q_i$ masing-masing menunjukkan batas bawah toleransi dan batas atas toleransi untuk kendala *fuzzy* pertaksamaan $a_i(X)$.

- fungsi keanggotaan kendala *fuzzy* $a_i(X) \cong b_i, i = 1, 2, \dots, m$, didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu(a_i(X)) = \begin{cases} 0, & \text{jika } a_i(X) < b_i - q_{i1} \\ & \text{atau } a_i(X) > b_i + q_{i2} \\ \frac{a_i(X) - (b_i - q_{i1})}{q_{i1}}, & \text{jika } b_i - q_{i1} \leq a_i(X) < b_i \\ 1, & \text{jika } a_i(X) = b_i \\ \frac{(b_i + q_{i2}) - a_i(X)}{q_{i2}}, & \text{jika } b_i < a_i(X) \leq b_i + q_{i2} \end{cases}$$

Pada metode *fuzzy goal programming*, derajat keanggotaan $\mu(Z_k(X))$ dari suatu tujuan ke- k berada pada selang $[0, 1]$, sehingga dengan menambahkan variabel deviasi d_k^- dan d_k^+ , fungsi keanggotaan dari tujuan *fuzzy* dapat direpresentasikan sebagai $\mu(Z_k(X)) + d_k^- - d_k^+ = 1$, untuk fungsi keanggotaan dari tujuan tipe \geq dan \leq dengan $d_k^-, d_k^+ \geq 0, d_k^+ \cdot d_k^- = 0, k = 1, 2, \dots, K$. Variabel d_k^- dan d_k^+ berturut-turut merupakan variabel deviasi yang berada di bawah dan di atas dari derajat keanggotaan tujuan *fuzzy* ke- k .

Suatu tujuan ke- k dikatakan berhasil dicapai bila nilai variabel deviasi d_k^- dan d_k^+ kurang dari satu. Jika nilai variabel deviasi $d_k^- > 1$, maka akan mengakibatkan derajat keanggotaan $\mu(Z_k(X)) < 0$. Sedangkan jika $d_k^+ > 1$, maka akan mengakibatkan nilai fungsi objektif $Z_k(X)$ melebihi batas toleransi yang diberikan oleh pembuat keputusan. Semakin nilai variabel deviasi d_k^- dan d_k^+ dekat dengan 0, semakin besar tingkat keberhasilan tujuan ke- k .

Suatu kendala *fuzzy* ke- i memiliki derajat keanggotaan pada selang $[0, 1]$, sehingga dengan menambahkan variabel deviasi d_i^- dan d_i^+ , fungsi keanggotaan dari kendala tipe \geq dan \leq dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$\mu(a_i(X)) + d_i^- - d_i^+ = 1, d_i^-, d_i^+ \geq 0, d_i^+ \cdot d_i^- = 0, i = 1, 2, \dots, m.$$

d_i^- dan d_i^+ merupakan variabel deviasi yang berada di bawah dan di atas dari derajat keanggotaan kendala *fuzzy* ke- i . Suatu kendala ke- i dikatakan berhasil dicapai bila nilai variabel deviasi d_i^- dan d_i^+ kurang dari satu. Jika nilai variabel deviasi $d_i^- > 1$, maka akan mengakibatkan derajat keanggotaan $\mu(a_i(X)) < 0$. Sedangkan jika $d_i^+ > 1$, maka akan mengakibatkan nilai fungsi objektif $a_i(X)$ melebihi batas toleransi yang diberikan oleh pembuat keputusan. Semakin nilai variabel deviasi d_i^- dan d_i^+ dekat dengan 0, semakin besar

tingkat keberhasilan kendala ke- i . Fungsi keanggotaan untuk kendala *fuzzy* persamaan merupakan gabungan dari fungsi keanggotaan untuk kendala *fuzzy* pertaksamaan (\geq dan \leq).

Selanjutnya akan digunakan metode *min sum fuzzy goal programming*, yaitu suatu metode *fuzzy goal programming* yang menggunakan fungsi keanggotaan dari fungsi objektif dan fungsi kendala yang dianggap sebagai kendala *fuzzy* dengan menetapkan derajat tertinggi dari level aspirasi. Metode ini akan meminimumkan variabel deviasi yang berada di bawah tujuan dan kendala *fuzzy* (lihat [2]). Menurut Gupta dan Bhattacharya metode *min sum fuzzy goal programming* dengan kendala *fuzzy* dapat diformulasikan sebagai berikut:

Tentukan $X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$ yang meminimumkan $z = \sum_{k=1}^K d_k^- + \sum_{i=1}^m d_i^-$ dengan kendala

- (1) $\frac{Z_k(X) - (g_k - p_k)}{p_k} + d_k^- - d_k^+ = 1$, (untuk tujuan tipe \geq)
- (2) $\frac{(g_k + p_k) - Z_k(X)}{p_k} + d_k^- - d_k^+ = 1$, (untuk tujuan tipe \leq)
- (3) $\frac{a_i(X) - (b_i - q_i)}{q_i} + d_i^- - d_i^+ = 1$, (untuk kendala tipe \geq)
- (4) $\frac{(b_i + q_i) - a_i(X)}{q_i} + d_i^- - d_i^+ = 1$, (untuk kendala tipe \leq)
- (5) $\frac{(b_i + q_{i1}) - a_i(X)}{q_{i1}} + d_i^- - d_i^+ = 1$ dan $\frac{a_i(X) - (b_i - q_{i2})}{q_{i2}} + d_i^- - d_i^+ = 1$ (untuk kendala tipe \cong)
- (6) $g_k - p_k \leq Z_k(X) \leq g_k + p_k$ (kendala batas toleransi untuk tujuan tipe \geq dan \leq)
- (7) $b_i - q_i \leq a_i(X) \leq b_i + q_i$ (kendala batas toleransi untuk kendala tipe \geq dan \leq)
- (8) $b_i - q_{i1} \leq a_i(X) \leq b_i + q_{i2}$ (kendala batas toleransi untuk kendala tipe \cong)
- (9) $X, d_k^-, d_k^+, p_k \geq 0; d_k^-, d_k^+ \leq 1; d_k^+ \cdot d_k^- = 0; k = 1, 2, \dots, K$
 $d_i^-, d_i^+, q_i, q_{i1}, q_{i2} \geq 0; d_i^-, d_i^+ \leq 1, d_i^+ \cdot d_i^- = 0; i = 1, 2, \dots, m.$

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Produk investasi yang ditawarkan bank ada yang berisiko dan ada yang tidak. Semakin tinggi risiko suatu produk investasi, semakin besar tingkat pendapatan yang diperoleh. Oleh karena itu, bank harus bisa mengalokasikan produk investasi sehingga memaksimalkan profit dan meminimumkan risiko secara bersamaan. Misalkan bahwa setiap bank harus memiliki karakteristik sebagai berikut:

- 1 Paling sedikit 47% dari giro dan 36% dari deposito berjangka dan tabungan tetap dalam keadaan likuid (*liquid part*).

- 2 Paling sedikit 14% dari giro dan 4% dari deposito berjangka dan tabungan dialokasikan dalam kategori kas.
- 3 Paling sedikit 5% dari total sumber dana diinvestasikan ke setiap kategori investasi.
- 4 Paling sedikit 40% dari total sumber dana diinvestasikan ke pinjaman komersial.

Selanjutnya digunakan 3 fungsi objektif, yaitu memaksimalkan profit, meminimumkan kecukupan modal, dan meminimumkan rasio aset berisiko (jumlah investasi yang berisiko/modal). Fungsi objektif profit diperoleh dari penjumlahan tingkat pendapatan setiap kategori investasi. Fungsi objektif kecukupan modal diperoleh dari rasio modal wajib untuk memenuhi kebutuhan investasi dengan modal sebenarnya (dana sendiri). Fungsi objektif risiko diperoleh dari rasio jumlah investasi yang berisiko terhadap dana sendiri. Rasio aset berisiko yang rendah mengindikasikan bahwa suatu lembaga keuangan dalam keadaan aman. Kecukupan modal yang rendah mengindikasikan risiko yang minimum, karena kecukupan modal yang rendah memberikan makna bahwa selisih antara dana yang dibutuhkan untuk investasi dan dana sebenarnya (modal sendiri) juga rendah sehingga mengakibatkan risiko yang minimum.

3.1 Contoh Kasus Bank AXN

Tabel 1 Kategori investasi Bank AXN

j	Kategori Investasi	Tingkat Pendapatan (%)	Bagian Likuid (%)	Kecukupan Modal (%)	Aset Berisiko? (Ya/Tidak)
1	Kas	0	100	0	Tidak
2	Investasi jangka pendek	4	99.5	1	Tidak
3	Surat berharga pemerintah jangka waktu 1 sampai 5 tahun	3.5	96	5	Tidak
4	Surat berharga pemerintah jangka waktu 5 sampai 10	7	90	6	Tidak
5	Pinjaman angsuran	11.5	0	17	Ya
6	Kredit tunai	12	0	19	Ya
7	Pinjaman komersial	10.5	0	11	Ya

Misalkan sumber dana Bank AXN berasal dari dana sendiri dan dana dari pihak ketiga. Sumber dana sendiri sebesar 250 juta rupiah, sumber dana dari pihak ketiga terdiri atas giro sebesar 125000 juta rupiah, dan deposito berjangka dan tabungan sebesar 225000 juta rupiah.

Dana tersebut akan diinvestasikan ke dalam berbagai kategori investasi dengan tingkat pendapatan, bagian likuid, kecukupan modal, dan risiko aset, seperti pada Tabel 1.

Misalkan x_j = banyaknya uang (dalam jutaan rupiah) yang akan diinvestasikan ke dalam kategori investasi ke- j , $j = 1, 2, \dots, 7$. Formulasi pemrograman linear multiobjektif ialah:

(1) Minimumkan (aset berisiko): $Z_1(X) := \left(\frac{1}{250}\right)(x_5 + x_6 + x_7)$

(2) Maksimumkan (profit) $Z_2(X) := 0.04x_2 + 0.035x_3 + 0.07x_4 + 0.115x_5 + 0.12x_6 + 0.105x_7$

(3) Minimumkan (kecukupan modal) $Z_3(X) := \left(\frac{1}{250}\right)(0.01x_2 + 0.05x_3 + 0.06x_4 + 0.17x_5 + 0.19x_6 + 0.11x_7)$

dengan kendala

(1) Semua dana (dana sendiri dan dana pihak ketiga) diinvestasikan ke setiap kategori investasi: $x_1 + \dots + x_7 = 350250$

(2) Kendala likuiditas: $x_1 + 0.995x_2 + 0.96x_3 + 0.9x_4 \geq 0.47 \times 125000 + 0.36 \times 225000$

(3) Kendala diversifikasi

$$x_1 \geq 0.14 \times 125000 + 0.04 \times 225000, \text{ dan } x_j \geq 0.05 \times 350250, j = 2, \dots, 7$$

(4) Kendala untuk aset komersial: $x_7 \geq 0.4(250 + 125000 + 225000)$

Masalah investasi Bank AXN diselesaikan dengan *preemptive goal programming* menggunakan *software* LINGO 11.0. Misalkan prioritas pertama ialah meminimumkan aset berisiko, prioritas kedua ialah memaksimumkan profit, dan prioritas ketiga ialah meminimumkan kecukupan modal. Maka formulasi masalah prioritas pertama ialah:

Minimumkan (aset berisiko) $Z_1(X) := \left(\frac{1}{250}\right)(x_5 + x_6 + x_7)$ dengan kendala

(1) $x_1 + \dots + x_7 = 350250$

(2) $x_1 + 0.995x_2 + 0.96x_3 + 0.9x_4 \geq 139750$

(3) $x_1 \geq 26500, x_j \geq 17512.5, j = 2, \dots, 7$

(4) $x_7 \geq 140100$

Solusi optimal (dalam juta rupiah) masalah ini ialah: $x_1 = 26500, x_2 = x_3 = x_5 = x_6 = 17512.5, x_4 = 113600, x_7 = 140100$ dengan $Z_1 = 700.5, Z_2 = 28091.38$ juta rupiah dan $Z_3 = 118.329$.. Kemudian nilai fungsi objektif risiko $Z_1 \leq 700.5$ ditambahkan pada kendala di prioritas kedua, dan diperoleh solusi optimal $x_1 = 26500, x_2 = x_3 = x_5 = x_6 = 17512.5, x_4 = 113600, x_7 = 140100$ dengan $Z_1 = 700.5, Z_2 = 28091.38$ juta rupiah dan $Z_3 = 118.329$ Dengan cara serupa, fungsi objektif profit $Z_2 \geq 28091.38$ juta rupiah ditambahkan pada kendala di

prioritas ketiga. Masalah ini tidak mempunyai solusi fisibel. Jadi solusi optimal diperoleh dari prioritas kedua.

Selanjutnya akan digunakan metode *goal programming* dengan menetapkan secara subjektif tiga level aspirasi dari fungsi objektif aset berisiko, profit, dan kecukupan modal, yaitu $g_1 = 700$, $g_2 = 28100$ juta rupiah, dan $g_3 = 118$. Penetapan level aspirasi tersebut didasarkan pada solusi nilai fungsi objektif yang diperoleh dari metode *preemptive goal programming*. Model *fuzzy goal programming* untuk masalah alokasi investasi Bank AXN sebagai berikut:

Tentukan $X = (x_1, x_2, \dots, x_7)$ sehingga memenuhi fungsi objektif

(1) $Z_1(X) \lesssim 700$, $Z_2(X) \gtrsim 28100$, $Z_3(X) \lesssim 118$ terhadap kendala

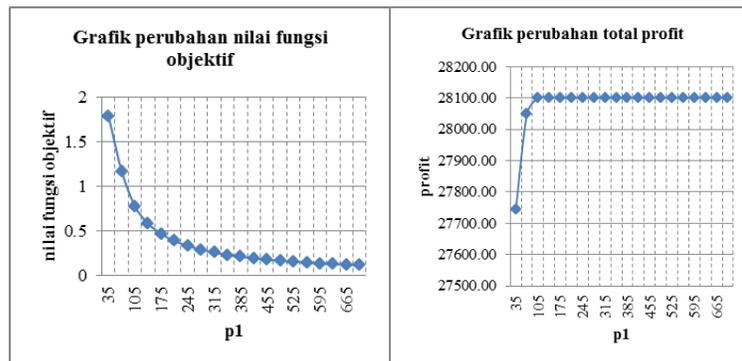
(1) $x_1 + \dots + x_7 \cong 350250$

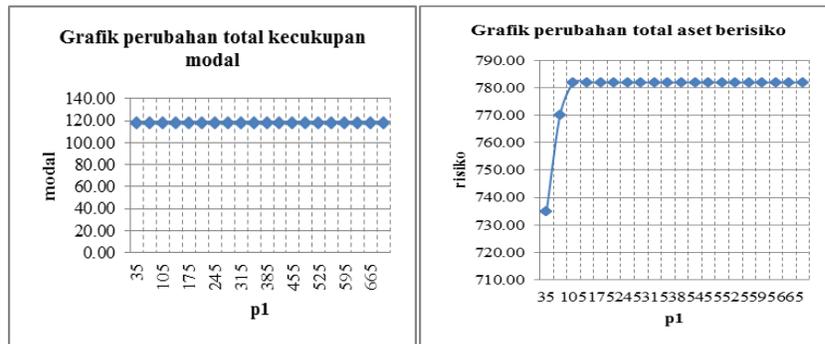
(2) $x_1 + 0.995x_2 + 0.96x_3 + 0.9x_4 \gtrsim 139750$

(3) $x_1 \geq 26500$, $x_j \geq 17512.5$, $j = 2, \dots, 7$

(4) $x_7 \geq 140100$

Selanjutnya, didefinisikan fungsi keanggotaan untuk setiap tujuan dan kendala *fuzzy*, kemudian ditentukan nilai-nilai toleransi p dan q . Nilai toleransi ditentukan dengan *trial and error*, dengan menganggap satu parameter yang berubah nilainya, sedang parameter lainnya tetap. Sebagai contoh, misalkan nilai toleransi p_1 selalu berubah dan nilai toleransi p_2, p_3, q_{11}, q_{12} , dan q_2 konstan, yaitu $p_1 = 700r$; $r \in [0.05, 1]$; $p_2 = 0.05 \times 28100$; $p_3 = 0.05 \times 118$; $q_{11} = q_{12} = 0.05 \times 350250$; $q_2 = 0.05 \times 139750$, maka diperoleh grafik fungsi objektif, aset berisiko, profit, dan kecukupan modal sebagai berikut:





Dipilih nilai toleransi $p_1 = 105$ sehingga total aset berisiko ada dalam selang $[595, 805]$. Demikian dan seterusnya dilakukan dengan parameter-parameter yang lain, yaitu $p_2 = 1405, p_3 = 53.1, q_{11} = 35025, q_{12} = 17512.5, \text{ dan } q_2 = 20962.5$ sehingga diperoleh solusi optimal (dalam juta rupiah) $x_1 = 26500, x_2 = x_3 = x_5 = x_6 = 17512.5, x_4 = 111084, x_7 = 141859.5$ dengan nilai fungsi objektif sebesar 0.102794 dan total aset berisiko $Z_1 = 707.54$, total profit $Z_2 = 28100$ juta rupiah, dan total kecukupan modal $Z_3 = 118.5$. Jadi, Bank AXN akan memperoleh profit sebesar 28100 juta rupiah dengan total risiko sebesar 707.54 dan total kecukupan modal sebesar 118.5 jika menginvestasikan dana sebesar 26500 juta rupiah untuk kategori kas, sebesar 17512.5 juta rupiah untuk masing-masing kategori investasi jangka pendek, surat berharga pemerintah jangka waktu 1 sampai 5 tahun, pinjaman angsuran, dan kredit tunai, sebesar 111084 juta rupiah untuk kategori investasi surat berharga pemerintah jangka waktu 5 sampai 10 tahun, dan sebesar 141859.5 juta rupiah untuk kategori investasi pinjaman komersial.

4 PUSTAKA

- [1] Winston WL. 2004. *Operations Research Applications and Algorithms*. Ed ke-4. New York: Duxbury.
- [2] Gupta M, Bhattacharya D. 2010. Goal programming and fuzzy goal programming techniques in the bank investment plans under the scenario of maximizing profit and minimizing risk factor: A case study. *Advances in Fuzzy Mathematics* 5(2):111-119.
- [3] Zimmermann. 1991. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. Ed ke-2. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

IMPLEMENTASI *FLEET SIZE AND MIX VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS* PADA PENDISTRIBUSIAN KORAN

Maya Widyastiti^{*)}, Farida Hanum, Toni Bakhtiar

Departemen Matematika FMIPA, Institut Pertanian Bogor
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
^{*)} maya.widyastiti@gmail.com

ABSTRAK

Pendistribusian hasil produksi merupakan salah satu bagian penting dari kegiatan sebuah perusahaan. Beberapa permasalahan yang sering dihadapi oleh perusahaan dalam melaksanakan pendistribusian hasil produksi antara lain menentukan rute kendaraan yang dapat mengoptimalkan jarak tempuh atau biaya perjalanan, waktu tempuh, banyaknya kendaraan yang dioperasikan, dan sumber daya lain yang tersedia. Masalah penentuan rute dalam pendistribusian koran menjadi sangat penting mengingat koran memuat berbagai berita baru sehingga kedatangan koran tepat pada waktunya menjadi sangat diperlukan. Dalam penelitian ini, masalah penentuan rute optimal pada pendistribusian koran diformulasikan menjadi VRP dengan kapasitas kendaraan yang tidak sama (heterogen) dan terdapat *time windows* (selang waktu) pada setiap pelanggan sehingga setiap pelanggan harus dilayani pada selang waktunya masing-masing (*Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows*). Di sini dibahas tiga kasus pendistribusian koran, yaitu kasus dengan semua kendaraan digunakan, kasus dengan tidak semua kendaraan digunakan yang dibedakan lagi dari fungsi objektifnya yaitu meminimumkan biaya, dan meminimumkan banyaknya kendaraan. Permasalahan pendistribusian koran pada penelitian ini diselesaikan dengan metode *branch and bound* dan dibantu dengan perangkat lunak LINGO 11.0. Di setiap kasus diperoleh hasil berupa rute optimal yang meminimumkan jarak atau biaya atau banyaknya kendaraan.

Katakunci: optimasi, *vehicle routing problem*, *time windows*, pendistribusian koran

1 PENDAHULUAN

Koran merupakan salah satu produk yang berisi informasi tentang berbagai kejadian yang terjadi di berbagai tempat. Bisnis koran ini mengharuskan produk dapat sampai ke pelanggan dengan tepat waktu. Oleh karena itu, masalah pendistribusian koran menjadi sangat penting mengingat koran memuat berbagai berita baru sehingga kedatangan koran tepat pada waktunya menjadi sangat diperlukan.

Permasalahan pendistribusian koran dari suatu perusahaan ke para pelanggan secara matematis dapat diformulasikan sebagai suatu *Vehicle Routing Problem* (VRP). Dengan VRP

dapat diperoleh suatu rute dengan jarak atau total biaya pendistribusian yang seminimum mungkin. Rute tersebut merupakan rute kendaraan yang mengunjungi setiap pelanggan tepat satu kali dengan mempertimbangkan kendala yang ada. VRP memiliki beberapa variasi, antara lain VRP dengan batasan kapasitas kendaraan yang disebut *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* dan VRP dengan adanya batasan selang waktu tertentu untuk melayani setiap pelanggan yang biasa disebut *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)*. Dalam penelitian ini, masalah penentuan rute optimal pada pendistribusian koran diformulasikan menjadi VRP dengan kapasitas kendaraan yang tidak sama (heterogen) dan terdapat *time windows* pada setiap pelanggan sehingga setiap pelanggan harus dilayani pada selang waktu masing-masing, yang biasa dinyatakan sebagai *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows (FSMVRPTW)*.

2VEHICLE ROUTING PROBLEM

Vehicle Routing Problem (VRP) pertama kali diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959 yang berorientasi pada masalah optimasi kombinatorial yaitu optimasi yang melibatkan banyak variabel. VRP adalah masalah penentuan rute kendaraan dalam mendistribusikan barang dari tempat produksi yang dinamakan depot ke pelanggan dengan tujuan meminimumkan total jarak tempuh kendaraan. Batasan-batasan yang harus dipenuhi ialah setiap kendaraan yang akan mendistribusikan barang ke pelanggan harus memulai rute perjalanan dari tempat produksi (depot), setiap pelanggan hanya boleh dilayani satu kali oleh satu kendaraan, setiap pelanggan mempunyai permintaan yang harus dipenuhi dan diasumsikan permintaan tersebut sudah diketahui sebelumnya. Setiap kendaraan memiliki batasan kapasitas tertentu artinya setiap kendaraan akan melayani pelanggan sesuai dengan kapasitasnya. Selanjutnya, tidak terdapat subrute untuk setiap kendaraan [1].

Secara matematis, VRP dapat dinyatakan sebagai suatu digraf $G = (V, A)$, dengan $V = \{0, 1, \dots, n\}$ adalah himpunan simpul yang menunjukkan lokasi pelanggan dan $A = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$ yaitu himpunan sisi berarah yang menyatakan jalan penghubung antarlokasi pelanggan [1]. *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem (FSMVRP)* ialah variasi dari *Vehicle Routing Problem (VRP)* yang menentukan kombinasi dan rute yang ditempuh oleh kendaraan yang berbeda agar dapat melayani suatu himpunan pelanggan dengan permintaan yang sudah diketahui [2]. Pada *Fleet Size and Mix Vehicle Routing*

Problem with Time Windows (FSMVRPTW), pelanggan perlu dilayani dalam *time windows* masing-masing untuk meminimumkan biaya dengan kapasitas kendaraan yang tidak sama (heterogen)[3].

3 DESKRIPSI DAN FORMULASI MASALAH

Permasalahan yang sering dihadapi oleh perusahaan dalam mendistribusikan hasil produksi ialah menentukan rute kendaraan yang mengoptimalkan jarak tempuh atau biaya perjalanan, waktu tempuh, banyaknya kendaraan yang digunakan, dan sumber daya lain yang tersedia. Kendala yang harus dipertimbangkan dalam melakukan pendistribusian antara lain kapasitas kendaraan, jumlah permintaan setiap pelanggan, dan jarak antarpelanggan. Penentuan rute kendaraan yang optimal bertujuan agar semua permintaan pelanggan dapat terlayani dengan baik dan tepat pada waktunya, serta pada akhirnya keuntungan yang diperoleh perusahaan pun akan optimal.

Ada beberapa pendistribusian produk yang memiliki hubungan dengan waktu pelayanan, seperti pendistribusian sayuran, koran, susu, dan sebagainya. Dalam penelitian ini, penentuan rute optimalnya diterapkan pada masalah pendistribusian koran. Karena koran berisi informasi tentang berbagai kejadian yang terjadi di berbagai negara, maka kedatangan koran tepat waktu kepada pelanggan menjadi salah satu hal yang penting dalam melakukan pendistribusian. Agar pelanggan dapat dilayani dengan tepat waktu, maka koran yang telah dicetak oleh perusahaan percetakan harus langsung didistribusikan kepada semua pelanggan menggunakan kendaraan dengan kapasitas tertentu. Setiap kendaraan memiliki kecepatan tertentu dan terdapat biaya penggunaan kendaraan. Selain itu, setiap pelanggan memiliki *time windows* yang beragam.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam masalah penentuan rute optimal dalam penelitian ini ialah:

1. banyaknya permintaan pelanggan sudah diketahui,
2. semua permintaan pelanggan dapat dipenuhi oleh perusahaan (produsen),
3. jenis produk yang didistribusikan adalah homogen,
4. jarak antarpelanggan adalah simetrik, artinya jarak dari pelanggan i ke pelanggan j sama dengan jarak dari pelanggan j ke pelanggan i ,
5. biaya perjalanan sebanding dengan jarak antarpelanggan,

6. kecepatan dari setiap jenis kendaraan berbeda satu sama lain dan konstan, artinya tidak ada yang mempercepat dan memperlambat kecepatan kendaraan tersebut,
7. setiap kendaraan yang digunakan akan berangkat dari perusahaan pukul 02.00 atau pada saat $t = 0$.

Masalah penentuan rute optimal dapat diformulasikan sebagai suatu ILP (*Integer Linear Programming*) dengan himpunan, indeks, parameter dan variabel keputusannya didefinisikan sebagai berikut.

$K = \{1, 2, \dots, r\}$ = himpunan kendaraan,

$H = \{2, 3, \dots, n\}$ = himpunan pelanggan,

$N = \{1, 2, \dots, n\}$ = himpunan depot dan pelanggan, dengan 1 menyatakan depot,

i, j, p = indeks untuk menyatakan pelanggan dan depot,

k = indeks untuk menyatakan kendaraan,

c_{ij} = biaya perjalanan dari pelanggan i ke pelanggan j

q_i = banyaknya permintaan dari pelanggan i

a_k = kapasitas dari kendaraan k

f_k = biaya penggunaan kendaraan k

t_{ijk} = lama perjalanan dari pelanggan i ke pelanggan j menggunakan kendaraan k

d_{ij} = jarak antara pelanggan i dan pelanggan j

v_k = kecepatan kendaraan k

$[e_i, l_i]$ = *time windows* pelanggan i , dengan e_i adalah waktu tercepat pelanggan i dilayani dan l_i adalah waktu terlama pelanggan i dilayani

s_i = lama pelayanan pelanggan i

b_{ik} = waktu pelanggan i mulai dilayani oleh kendaraan k

M = konstanta positif yang nilainya relatif besar.

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jika pelanggan } j \text{ dilayani setelah} \\ & \text{pelanggan } i \text{ oleh kendaraan } k \\ 0, & \text{jika sebaliknya.} \end{cases}$$

Fungsi Objektif

Fungsi objektif y dari penentuan rute optimal dalam pendistribusian koran ialah meminimumkan total biaya yang harus dikeluarkan oleh suatu perusahaan (depot) dalam

melakukan pendistribusian hasil produksi ke sejumlah pelanggan. Biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan terdiri atas biaya tetap penggunaan kendaraan y_1 dan biaya perjalanan dalam pendistribusian hasil produksi y_2 . Fungsi objektif dari penentuan rute optimal dapat diberikan sebagai berikut:

$$\text{Minimumkan } y := y_1 + y_2,$$

$$\text{dengan } y_1 := \sum_{k \in K} f_k \sum_{j \in H} x_{1jk}, \text{ dan } y_2 := \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk}.$$

Kendala yang harus dipenuhi untuk melakukan pendistribusian hasil produksi ialah:

1. Setiap kendaraan harus berangkat dari depot dan seluruh kendaraan harus digunakan untuk melayani pelanggan,

$$\sum_{j \in H} x_{1jk} = 1, \forall k \in K.$$

2. Setiap pelanggan dilayani tepat satu kali oleh satu kendaraan,

$$\sum_{k \in K} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} x_{ijk} = 1, \forall j \in H, \sum_{k \in K} \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} x_{ijk} = 1, \forall i \in H.$$

3. Rute harus kontinu, artinya setiap kendaraan yang mengunjungi suatu pelanggan pasti akan meninggalkan pelanggan tersebut,

$$\sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} x_{ipk} - \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq p}} x_{pjk} = 0, \forall p \in H, \forall k \in K.$$

4. Total permintaan dari semua pelanggan untuk setiap kendaraan tidak melebihi kapasitas kendaraan yang digunakan: $\sum_{i \in H} \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} q_i x_{ijk} \leq a_k, \forall k \in K.$

5. Lama perjalanan dari pelanggan i ke pelanggan j menggunakan kendaraan k dapat ditentukan dengan membagi jarak pelanggan i ke pelanggan j dengan kecepatan dari kendaraan, $t_{ijk} = \frac{d_{ij}}{v_k}, \forall i, j \in N, i \neq j, \forall k \in K.$

6. Waktu pelanggan j mulai dilayani oleh kendaraan k (b_{jk}) dapat ditentukan dari penjumlahan antara waktu untuk melayani pelanggan i (b_{ik}), lama melayani pelanggan i (s_i) ditambah waktu perjalanan dari pelanggan i ke j (t_{ijk}), dan menjamin bahwa tidak terdapat *subtour* pada formulasi yang dibuat. Rute pendistribusian yang memuat suatu *subtour* merupakan solusi yang takfeasibel.

$$b_{ik} + s_i + t_{ijk} - M(1 - x_{ijk}) \leq b_{jk}, \forall i \in N, \forall j \in H, i \neq j, \forall k \in K.$$

7. Waktu pelanggan i mulai dilayani oleh kendaraan k berada di antara *time windows* dari pelanggan i , $e_i \leq b_{ik}, b_{ik} + s_i \leq l_i, \forall i \in H, \forall k \in K$.
8. Variabel b_{ik} merupakan variabel taknegatif: $b_{ik} \geq 0, \forall i \in H, \forall k \in K$.
9. Variabel keputusan x_{ijk} merupakan variabel keputusan yang bernilai 0 atau 1, $x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall i, j \in N, i \neq j, \forall k \in K$.

4 STUDI KASUS

Serambi Indonesia merupakan salah satu surat kabar yang terbit setiap hari di Banda Aceh. Surat kabar ini mulai diterbitkan pertama kali pada tahun 1989 oleh PT Harian Serambi Indonesia yang terletak di Jalan Laks Malahayati Km 6.5, Banda Aceh, Nanggroe Aceh Darussalam. Perusahaan ini memproduksi koran yang kemudian didistribusikan kepada sejumlah agen yang ada.

PT Harian Serambi Indonesia yang bertindak sebagai depot, dinyatakan dengan Agen 1, akanmendistribusikan koran ke 14 agennya, yang dinyatakan dengan Agen 2–15. Data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu data jarak antaragen dan data permintaan setiap agen, adalah data distribusi koran PT Harian Serambi Indonesia Nanggroe Aceh Darussalam pada depot percetakan Banda Aceh yang diperoleh dari [4]. Data lainnya, yaitu lama pelayanan, *time windows*, kapasitas kendaraan, banyaknya kendaraan, biaya penggunaan kendaraan, dan kecepatan kendaraan untuk setiap jenis kendaraan, merupakan data hipotetik.

Tabel 1 Jarak antaragen (dalam kilometer)

Agen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	5	7	12	35	7	19	3	8	30	48	75	95	105	119
2	5	0	3	8	31	2	14	8	13	35	53	80	100	110	124
3	7	3	0	5	28	5	17	10	15	37	55	82	102	112	126
4	12	8	5	0	27	10	22	15	20	42	60	87	107	117	131
5	35	31	28	27	0	33	45	38	43	65	83	110	130	140	154
6	7	2	5	10	33	0	12	10	15	37	55	82	102	112	126
7	19	14	17	22	45	12	0	22	27	49	67	94	114	124	138
8	3	8	10	15	38	10	22	0	5	27	45	72	92	102	116
9	8	13	15	20	43	15	27	5	0	22	40	67	87	97	111
10	30	35	37	42	65	37	49	27	22	0	18	45	65	75	89
11	48	53	55	60	83	55	67	45	40	18	0	27	47	57	71
12	75	80	82	87	110	82	94	72	67	45	27	0	20	30	44
13	95	100	102	107	130	102	114	92	87	65	47	20	0	10	24
14	105	110	112	117	140	112	124	102	97	75	57	30	10	0	14
15	119	124	126	131	154	126	138	116	111	89	71	44	24	14	0

Tabel 2 Banyaknya permintaan, waktu pelayanan, dan *time windows* dari setiap agen

No.	Nama Agen	Banyaknya Permintaan (Eksemplar/hari)	Lama Pelayanan (menit)	<i>Time Windows</i> (menit)
1	PT Harian Serambi Indonesia (Depot)	0	0	[0,0]
2	Trimora Agency Banda Aceh	3950	40	[15,150]
3	Dadang Supriadi Lampriet	1480	15	[30,150]
4	Darussalam Post	1621	17	[45,175]
5	Azra Agency Krueng Raya	1892	19	[75,180]
6	Joni Sukandar Seutui	1175	12	[60,150]
7	Nila Agency Lhoknga	635	7	[45,180]
8	Montasik Raya Post Lambaro Kafee	655	7	[30,180]
9	Abrah Agency Sibreh	612	7	[45,150]
10	Makmu Beusaree Indrapuri	595	6	[30,180]
11	Banora Agency Seulimun	493	5	[60,175]
12	Saree Agency	250	3	[30,150]
13	Syahril Agency Padang Tiji	520	6	[45,180]
14	Mulyadi Agency Sigli	1850	19	[60,180]
15	Sunaryati Agency Beureunun	1610	17	[15,150]

Tabel 3 Data kendaraan yang tersedia

No	Jenis Kendaraan	Banyaknya Kendaraan (Unit)	Kapasitas Kendaraan (eksemplar)	Biaya Tetap Kendaraan (Rupiah)	Biaya Perjalanan (Rupiah/km)	Kecepatan (km/menit)
1	Boks kecil	3	1000	100.000	1.000	0.9
2	Boks sedang	3	3000	280.000	1.000	1
3	Boks besar	2	4000	375.000	1.000	1.2

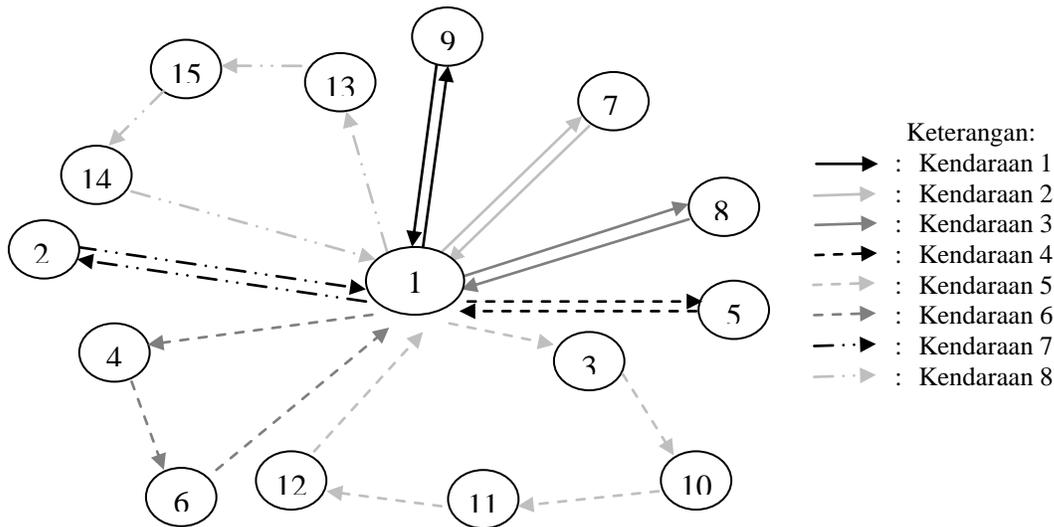
Pada penelitian ini, koran dikirim kepada sejumlah agen yang jumlah permintaannya telah diketahui. Data jarak antaragen dapat dilihat di Tabel 1. Pendistribusian koran dilakukan setiap hari pada selang waktu tertentu, yaitu pukul 02.00 sampai dengan pukul 05.00, dengan

pukul 02.00 dinyatakan sebagai waktu 0 dan pukul 05.00 sebagai 180. Setiap kendaraan hanya dapat melayani agen sesuai dengan *time windows* dari agen tersebut. Data banyaknya permintaan, lama pelayanan, dan *time windows* dari setiap agen diberikan pada Tabel 2, dan data lainnya diberikan di Tabel 3.

Pada penelitian ini dilakukan 3 simulasi. Pada Simulasi 1, PT Harian Serambi Indonesia harus meminimumkan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan dengan menggunakan semua kendaraan yang tersedia. Pada Simulasi 2a, akan diminimumkan banyaknya kendaraan yang akan digunakan, sedangkan pada Simulasi 2b, perusahaan ingin meminimumkan biaya namun tidak semua kendaraan harus digunakan.

Dengan formulasi FSMVRPTW dan dengan bantuan perangkat lunak LINGO 11.0 diperoleh solusi optimal sebagai berikut:

Solusi yang diperoleh dari Simulasi 1 ialah solusi optimal dengan nilai fungsi objektif atau total biaya yang dibutuhkan untuk melakukan pendistribusian koran sebesar Rp2.461.000 yang didapatkan pada iterasi ke-3800857. Waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan solusi tersebut sekitar 54 menit 26 detik dengan menggunakan komputer Intel® Atom™ CPU N455@1.66Ghz 1 GB DDR3. Rute pendistribusian koran yang diperoleh dari hasil proses komputasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Rute pendistribusian koran PT Harian Serambi Indonesia Simulasi 1.

Contoh waktu perjalanan salah satu kendaraan, yaitu Kendaraan 6, diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Bagan waktu pendistribusian koran pada Simulasi 1 menggunakan Kendaraan 6.

Fungsi objektif untuk Simulasi 2a ialah meminimumkan banyaknya kendaraan yang harus digunakan: Minimumkan $y := \sum_{k=1}^8 z_k$ dengan kendala seperti pada Simulasi 1, dengan perubahan: Kendala 1 pada Simulasi 1 diubah menjadi:

a. Tidak ada agen yang dilayani oleh kendaraan yang tidak dijalankan,

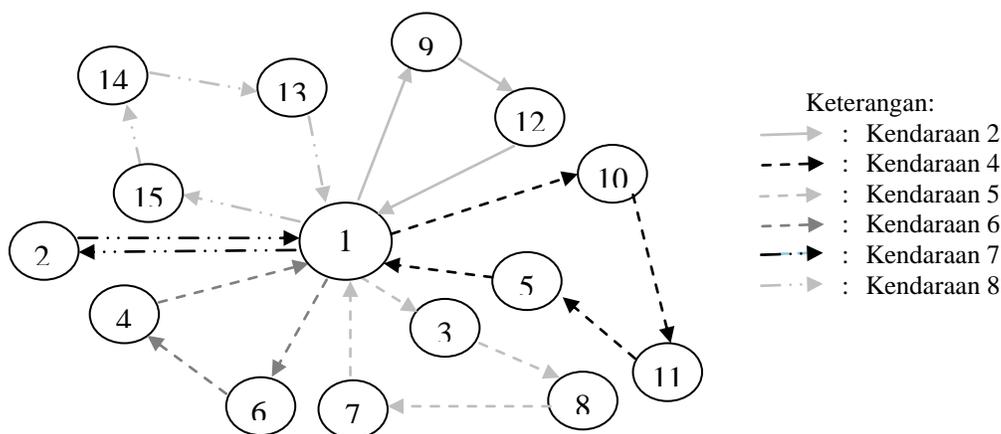
$$x_{ijk} \leq z_k, \forall i, j \in 1, 2, \dots, 15; i \neq j; \forall k \in 1, 2, \dots, 8.$$

b. Tidak semua kendaraan keluar dari depot, $\sum_{j=2}^{15} x_{1jk} \leq 1, \forall k = 1, 2, \dots, 8.$

Kendala 2 – 9 sama seperti pada Simulasi 1, dan ditambahkan Kendala 10, yaitu

10. Variabel keputusan z_k merupakan variabel keputusan yang bernilai 0 atau 1.

Solusi optimal dari Simulasi 2a rute yang menggunakan 6 kendaraan. Waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan solusi tersebut sekitar 26 menit 47 detik. Rute pendistribusian koran dapat dilihat pada Gambar 3.

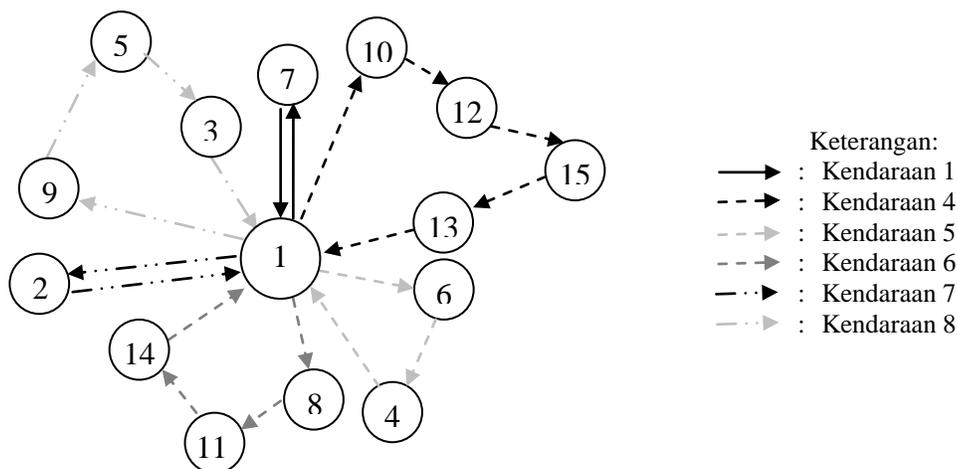


Gambar 3 Rute pendistribusian koran PT Harian Indonesia Simulasi 2a.

Fungsi objektif untuk Simulasi 2b ialah meminimumkan banyaknya kendaraan dan total biaya pendistribusian koran, yaitu Minimumkan $y := y_1 + y_2$, dengan:

$$y_1 := \sum_{k=1}^8 f_k z_k, \quad y_2 := \sum_{i=1}^{15} \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{15} \sum_{k=1}^8 c_{ij} x_{ijk} .$$

dan terhadap kendala seperti pada Simulasi 2a. Solusi yang diperoleh dari Simulasi 2b ialah solusi optimal dengan total biaya yang dibutuhkan oleh PT Harian Serambi Indonesia untuk melakukan pendistribusian koran sebesar Rp.2.301.000 yang didapatkan pada iterasi ke-245694192. Waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan solusi tersebut sekitar 89 jam 35 menit 44 detik.



Gambar 4 Rute pendistribusian koran PT Harian Serambi Indonesia Simulasi 2b.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [4] Toth P, Vigo D. 2002. An overview of vehicle routing problems. Di dalam Toth P, et al., editor. *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: Siam; hlm. 1-26.
- [5] Dell'Amico M, Monaci M, Pagani C, Vigo D. 2007. Heuristic approaches for the fleet size and mix vehicle routing problem with time windows. *Transportation Science*; 41(4):516-526.

- [6] Belfiore PP, Favero LPL. 2007. Scatter search for the fleet size and mix vehicle routing problem with time windows. *CEJOR*; 15:351-368.
- [7] Iskandar.2010. Model optimasi *vehicle routing problem* dan implementasinya[tesis].Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

MODIFIKASI MODEL *EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE* UNTUK MENDUGA VOLATILITAS SAHAM DI BURSA EFEK INDONESIA

Jose Bonatua Hasibuan^{1*}, Endar H. Nugrahani², I Gusti Putu Purnaba²

Dinas Pendidikan Provinsi Riau¹

josehasibuan@yahoo.com

Institut Pertanian Bogor, Bogor²

Institut Pertanian Bogor, Bogor³

ABSTRACT

Accurate volatility modeling is an important issue in finance. A common approach to estimate the volatility of asset returns is to use an exponentially weighted moving average (*EWMA*) model, a special case of general autoregressive conditional heteroscedasticity (*GARCH*) model with optimized smoothing weights. The standard *EWMA* estimator is based on the maximum likelihood estimator of the variance of the normal distribution, and is thus optimal when returns are conditionally normal. Financial asset returns are well-known to be non-normal and leptokurtic. In this research, we propose an alternative *EWMA* estimator that is robust to leptokurtosis in the conditional distribution of returns. The estimator is based on the maximum likelihood estimator of variance of the power exponential distribution, and is a function of an *EWMA* of the absolute value of past returns, rather than their squares. The aim of this paper is to compare forecasting performance of this newly developed estimator named Power *EWMA*, *EWMA* and *GARCH*. Data used in this research is daily closing stock price of LQ45 index from 2002-2011 period. We found that the Power *EWMA* has the best performance of the three models with respect to root mean square forecast error (RMSFE).

Keywords: *GARCH*, *EWMA*, Power *EWMA*, forecasting volatility

1 PENDAHULUAN

Berinvestasi melalui kepemilikan saham dan produk derivatif memungkinkan seorang investor mendapatkan *return* (imbal hasil) berupa keuntungan dalam jumlah besar dengan waktu yang relatif singkat. Namun demikian, sifat saham yang berfluktuasi terhadap waktu, seringkali justru menimbulkan risiko untuk merugi. Dalam ilmu keuangan, fluktuasi dari *return* saham dikenal dengan istilah volatilitas. Salah satu isu sentral dalam dunia keuangan modern adalah bagaimana mendapatkan pendugaan volatilitas terbaik. Akurasi dari suatu metode pendugaan volatilitas menjadi masukan dalam memutuskan kebijakan suatu perusahaan dan pelaku pasar keuangan.

Dalam berinvestasi, seorang investor mempertimbangkan tingkat *return* dan volatilitas ketika memilih saham. *Return* saham adalah tingkat pengembalian dari saham yang benar-benar diterima oleh pemegang saham di beberapa periode yang lalu [1]. Volatilitas adalah suatu ukuran yang menunjukkan seberapa besar harga berfluktuasi dalam suatu periode waktu [2]. Semakin tinggi volatilitas suatu saham, maka kepastian *return* suatu saham memberikan keuntungan akan semakin rendah. Namun, volatilitas yang tinggi menunjukkan nilai *return* yang tinggi pula. Sebaliknya, volatilitas yang rendah menunjukkan kestabilan nilai *return*, tetapi umumnya nilai *return* yang diharapkan tidak terlalu tinggi. Dalam ilmu statistik, volatilitas berarti simpangan baku.

GARCH dan *EWMA* merupakan dua metode untuk menduga volatilitas berdasarkan data *return* historis. Alat standar dalam analisis tersebut adalah regresi sederhana dari volatilitas sesungguhnya pada volatilitas yang diperkirakan. Pengukur *GARCH* dan *EWMA* didasarkan pada estimator kemungkinan maksimum (*maximum likelihood*) dari ragam yang berdistribusi normal, dan karena itu akan optimal ketika *return* dalam kondisi normal. Beberapa hasil studi menunjukkan bahwa *return* tidak berdistribusi normal. Sehingga, dalam penelitian ini perlu dikaji estimator *EWMA* alternatif untuk *return* tak-normal. Estimator baru ini didasarkan pada estimator kemungkinan maksimum dari standar deviasi dengan menggunakan asumsi distribusi *power exponential* atau *generalized error distribution (GED)*.

Adapun tujuan penelitian ini adalah melakukan analisa terhadap modifikasi model *EWMA* dengan mengasumsikan *return* berdistribusi *GED*. Selanjutnya dengan menggunakan data *return* harga penutupan harian indeks LQ45 yang diamati sejak tanggal 1 Januari 2002 sampai 31 Desember 2006, dilakukan pendugaan parameter model *GARCH*, *EWMA* dan modifikasinya. Kemudian, mengaplikasikan model *GARCH*, *EWMA* dan modifikasinya pada indeks LQ45 untuk periode 1 Januari 2007 sampai 31 Desember 2011 dan memberikan saran model terbaik untuk memperkirakan volatilitas di Bursa Efek Indonesia (BEI).

2 MODEL DAN METODE

Dalam penelitian ini, *return* saham pada saat t (R_t) ditentukan sebagai berikut:

$$R_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \quad (1)$$

dengan P_t menyatakan harga saham pada saat t .

Model GARCH

Suatu proses (R_t) merupakan proses GARCH jika memenuhi [3]:

(i) $E(R_t | R_u, u < t) = 0, t \in \mathbb{Z}$

(ii) $\exists \omega \geq 0, \alpha \geq 0, \beta \geq 0$ sehingga

$$\sigma_t^2 = \text{Var}(R_t | \epsilon_u, u < t) = \omega + \alpha R_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2, t \in \mathbb{Z} \quad (2)$$

Model EWMA

Model EWMA merupakan bagian dari model GARCH, yaitu untuk kasus khusus dari model GARCH dengan bobot pemulusan dioptimasi. Model EWMA untuk data k *return*, *return* terbaru diberikan bobot $(1-\lambda)$, *return* berikutnya $(1-\lambda)\lambda$ dan seterusnya, sehingga *return* terakhir diberi bobot $(1-\lambda)\lambda^{k-1}$, dengan λ ($0 < \lambda < 1$) merupakan faktor peluruhan (*decay factor*). Secara umum, EWMA menduga volatilitas untuk k *return* sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{(1-\lambda) \sum_{i=0}^{k-1} \lambda^i (R_{t-i} - \bar{R})^2}$$

Dengan mengasumsikan $\bar{R} = 0$ dan jumlah tak berhingga data tersedia, maka perkiraan volatilitas 1 hari ke depan adalah :

$$\sigma_{t+1}^2 = \lambda \sigma_t^2 + (1-\lambda) R_t^2 \quad (3)$$

di mana σ_t adalah varians periode t , R_t adalah *return* periode t dan λ adalah faktor peluruhan.

Model Power EWMA

Estimator *Power EWMA (P-EWMA)* didasarkan pada estimator kemungkinan maksimum *ragam* dari distribusi *GED*. Fungsi kepekatan peluang dari distribusi *GED* adalah sebagai berikut:

$$f(R, \sigma, \delta) = \left(\frac{\delta}{\varphi 2^{\delta/\delta+1} \Gamma\left(\frac{1}{\delta}\right) \sigma} \right) \exp\left(-\frac{1}{2} \left| \frac{R}{\varphi \sigma} \right|^\delta\right),$$

dengan $\varphi = \left\{ \frac{2^{-2/\delta} \Gamma\left(\frac{1}{\delta}\right)}{\Gamma\left(\frac{3}{\delta}\right)} \right\}^{\frac{1}{2}}$ dan Γ adalah fungsi gamma. Ragam dari distribusi *GED* dirumuskan sebagai berikut:

$$\hat{\sigma}^\delta = g(\delta) \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |R_t|^\delta,$$

$$\text{dengan } g(\delta) = \delta \left[\frac{\Gamma\left(\frac{3}{\delta}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{\delta}\right)} \right]^{\frac{\delta}{2}}.$$

Estimator *Power EWMA* adalah kasus khusus dari model *N-GARCH* [4]. Ragam model *N-GARCH* pada waktu $t+1$ dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_{t+1}^k = \alpha_0 + \alpha_1 \sigma_t^2 + \beta_1 |R_t|^k \quad (4)$$

dengan α_0 , α_1 dan β_1 adalah parameter estimasi. Ketika $\alpha_0 = 0$ dan $\beta_1 = (1 - \alpha_1)g(k)$, persamaan (4) tereduksi menjadi estimator *Power EWMA (P-EWMA)* sebagai berikut :

$$\sigma_{t+1}^k = \lambda \sigma_t^k + (1 - \lambda)g(k)|R_t|^k. \quad (5)$$

$$\text{dengan } g(k) = k \left[\frac{\Gamma\left(\frac{3}{k}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{k}\right)} \right]^{\frac{k}{2}}.$$

Metode Pendugaan Parameter

Pendugaan parameter model *GARCH* dan model *EWMA* akan dilakukan dengan metode kemungkinan maksimum (*maximum likelihood*) dengan algoritma *steepest descent* [5]. Data yang digunakan adalah data historis *return* indeks saham LQ45 periode 2004-2007, sebanyak 991 data pengamatan. Melalui metode ini akan diperoleh penaksir terbaik yang nilainya akan memaksimumkan fungsi kemungkinan (*likelihood*). Algoritma proses pendugaan parameter model *EWMA* dapat dilihat dari Gambar 2.

Definisikan $v_i = \sigma_i^2$ adalah varians pada hari ke- i dan distribusi peluangnya normal. Fungsi kemungkinannya adalah:

$$L = \prod_{i=1}^m \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi v_i}} \exp\left(\frac{-u_i^2}{2v_i}\right) \right]$$

Maksimum fungsi kemungkinan dapat diperoleh dengan memaksimumkan logaritma dari fungsi kemungkinan.

$$\ln L = \sum_{i=1}^m \left[\ln \frac{1}{\sqrt{2\pi v_i}} - \frac{u_i^2}{2v_i} \right] = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \left[\ln 2\pi v_i + \frac{u_i^2}{v_i} \right]$$

Sehingga ekuivalen dengan memaksimumkan

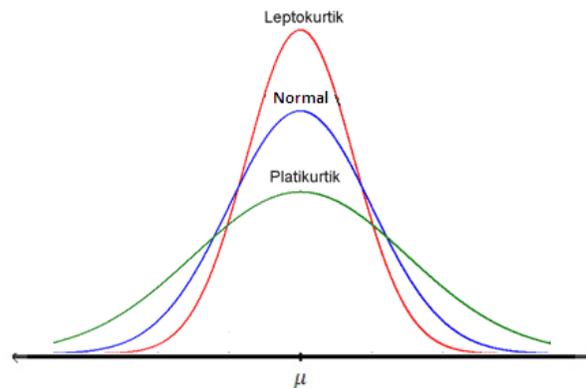
$$\sum_{i=1}^m \left[-\ln 2\pi v_i - \frac{u_i^2}{v_i} \right]. \quad (6)$$

Dengan menggunakan *solver* pada Microsoft Excel, dapat dicari parameter ω , α dan β untuk model *GARCH* dan parameter λ untuk model *EWMA* yang memaksimumkan fungsi (6).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan studi empiris yang telah dilakukan, banyak *return* saham yang tidak mengikuti pola distribusi normal. Distribusi *return* saham-saham sektor industri

pada bursa Dow Jones umumnya memiliki karakteristik kurva yang bersifat leptokurtik [6]. Data-data keuangan di Indonesia menunjukkan *return* yang memiliki sifat *skewness* dan *kurtosis* berlebih [7]. Parameter *kurtosis* menunjukkan tinggi atau rendahnya bentuk kurva normal. Kurva disebut normal jika tidak terlalu runcing (tinggi) atau tidak pula terlalu datar (rendah). Kurva yang runcing disebut leptokurtik sedangkan kurva yang datar disebut platikurtik. Nilai *kurtosis* untuk kurva berdistribusi normal adalah 3, sementara distribusi yang leptokurtik biasanya kurtosisnya > 3 [8]. Perbandingan karakteristik kurva normal, kurva platikurtik dan kurva leptokurtik dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Karakteristik kurva normal, kurva leptokurtik dan kurva platikurtik.

Berdasarkan data *return* harga penutupan harian indeks LQ45 yang diamati sejak tanggal 1 Januari 2004 sampai 30 Desember 2011 dengan jumlah pengamatan sebanyak 1962, diperoleh beberapa statistik deskriptif yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Ringkasan statistik data *return* indeks LQ45

Ringkasan	Nilai
Rataan	0.0007
Standar Deviasi	0.0180
<i>Kurtosis</i>	6.4924
<i>Skewness</i>	-0.5709

Dari Tabel 1 diketahui bahwa *return* indeks LQ45 memiliki nilai rata-rata positif, artinya bahwa fluktuasi *return* masih dalam keadaan wajar. Nilai *skewness* yang negatif menunjukkan bahwa data condong ke kiri. Sedangkan nilai *kurtosis* $6.4924 > 3$ menunjukkan karakteristik kurva yang bersifat leptokurtik. Pola leptokurtik, dengan tingginya kejadian pada bagian ekor, menunjukkan bahwa terdapat banyak kejadian yang ternyata berada jauh dari nilai rata-rata, kontras dengan apa yang ditunjukkan dengan distribusi normal.

Parameter GARCH, EWMA dan P-EWMA

Secara iteratif, dengan bantuan *Solver* pada Microsoft Excel, pemaksimalan fungsi kemungkinann model *GARCH* memberikan hasil nilai pendugaan $\omega = 0.000025$, $\alpha = 0.175269$ dan $\beta = 0.713004$. Selanjutnya model *GARCH* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{t+1}^2 = 0.000025 + 0.17R_t^2 + 0.71 \sigma_t^2$$

dengan σ_t ragam pada saat- t dan R_t *return* pada saat- t .

Pemaksimalan fungsi kemungkinann model *EWMA* menghasilkan nilai dugaan $\lambda = 0.906374$, yang selanjutnya digunakan dalam penelitian ini. Pendugaan volatilitas untuk model *EWMA* didapatkan sebagai berikut:

$$\sigma_{t+1}^2 = 0.906374 \sigma_t^2 + 0.093626 R_t^2$$

di mana σ_t ragam pada saat- t dan R_t = *return* pada saat- t .

Pemaksimalan fungsi kemungkinann model *P-EWMA* memberikan nilai dugaan parameter $k = 1.592196$ dan $\lambda = 0.930125$. Selanjutnya, model *P-EWMA* yang digunakan adalah sebagai berikut:

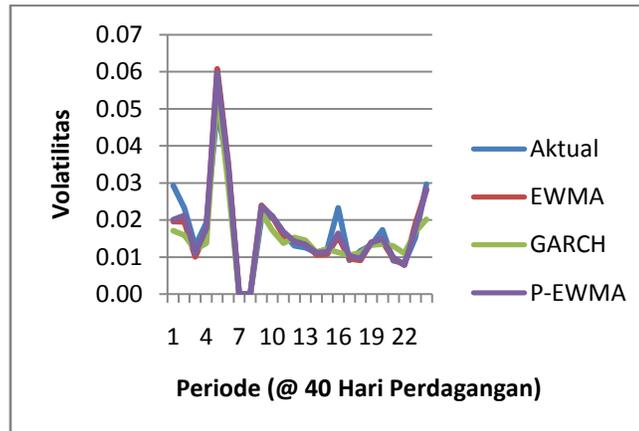
$$\sigma_{t+1}^{1.592196} = 0.930126 \sigma_t^{1.592196} + 0.080853 |R_t|^{1.592196}$$

dengan σ_t ragam pada saat- t dan R_t = *return* pada saat- t .

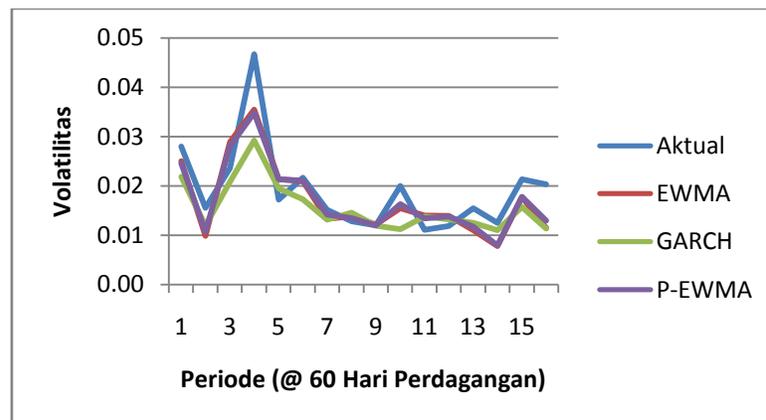
Pendugaan Volatilitas di Masa Mendatang

Pada bagian ini akan dibahas pendugaan volatilitas di masa yang akan datang dengan menggunakan model *GARCH*, *EWMA* dan *P-EWMA*. Untuk pendugaan volatilitas

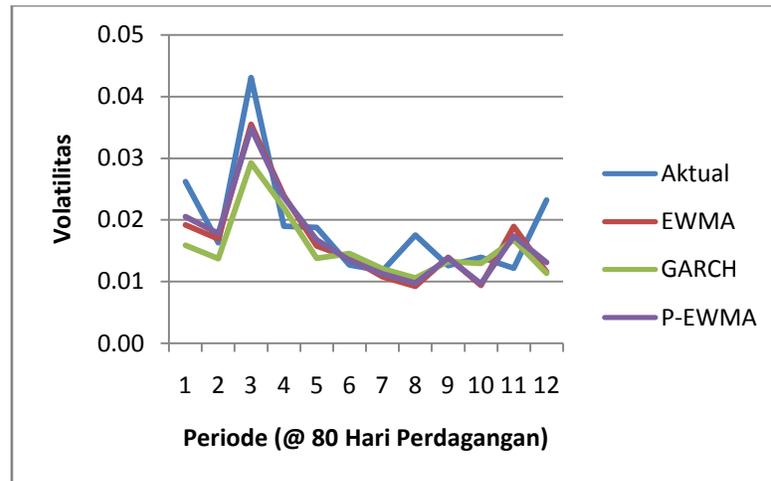
digunakan data indeks LQ45 periode 2008-2011. Hasil pendugaan dalam periode 40 hari perdagangan, 60 hari perdagangan dan 80 hari perdagangan dapat dilihat dari Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 berikut.



Gambar 3 Volatilitas dalam periode 40 hari perdagangan.



Gambar 4 Volatilitas dalam periode 60 hari perdagangan.



Gambar 5 Volatilitas dalam periode 80 hari perdagangan.

Dari Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5, terlihat bahwa tren volatilitas hasil pendugaan mendekati tren volatilitas aktual. Secara umum, ketiga model pendugaan cukup baik menggambarkan volatilitas aktual yang terjadi. Namun demikian, secara visual pendugaan periode 40 hari perdagangan memiliki tren terbaik yang mendekati tren volatilitas aktual.

Perbandingan Kinerja *GARCH*, *EWMA* dan *P-EWMA*

Selanjutnya untuk membandingkan kinerja dari model *GARCH*, *EWMA* dan *P-EWMA*, dihitung nilai *Root mean squared forecast error (RMSFE)* untuk ketiga periode perkiraan yang dilakukan, yaitu 40 hari perdagangan, 60 hari perdagangan dan 80 hari perdagangan. Hasil perhitungan *RMSFE* dapat dilihat dari Tabel 2 berikut.

Tabel 2 *RMSFE* untuk *GARCH*, *EWMA* dan *P-EWMA*

Periode	<i>GARCH</i>	<i>EWMA</i>	<i>P-EWMA</i>
40 Hari Perdagangan	0.005015	0.003880	0.003374
60 Hari Perdagangan	0,007088	0,006561	0.006402
80 Hari Perdagangan	0.006939	0.005887	0.005308

Tabel 2 menunjukkan untuk periode 40 hari perdagangan, *RMSFE* untuk model *GARCH*, *EWMA* dan *P-EWMA* berturut-turut adalah 0.005015, 0.003880, dan 0.003372. Data ini menunjukkan bahwa model *P-EWMA* memiliki nilai *RMSFE* terkecil dibandingkan model *GARCH* dan *EWMA*. Demikian pula untuk periode 60 hari perdagangan dan 80 hari perdagangan, model *P-EWMA* selalu memiliki nilai *RMSFE* terkecil dibandingkan model *GARCH* dan *EWMA*. Hal ini menunjukkan bahwa, *P-EWMA* memiliki kemampuan terbaik dalam melakukan pendugaan dibandingkan dengan model *GARCH* dan *EWMA*.

4 SIMPULAN

Hasil analisis modifikasi model *EWMA* dengan mengasumsikan *return* berdistribusi *GED* memberikan model *P-EWMA* untuk menentukan volatilitas dengan persamaan model sebagai berikut:

$$\sigma_{t+1}^k = \lambda^{j+1} \sigma_{t-1}^k + (1 - \lambda) g(k) \sum_{i=0}^j \lambda^i |R_{t-1}|^k.$$

Model *GARCH*, *EWMA* dan *P-EWMA* yang digunakan untuk melakukan pendugaan volatilitas adalah

$$\text{GARCH:} \quad \sigma_{t+1}^2 = 0,000025 + 0,17R_t^2 + 0,71 \sigma_t^2$$

$$\text{EWMA:} \quad \sigma_{t+1}^2 = 0,906374 \sigma_t^2 + 0,093626 R_t^2$$

$$\text{P-EWMA:} \quad \sigma_{t+1}^{1,592196} = 0,930126 \sigma_t^{1,592196} + 0,080853 |R_t|^{1,592196}.$$

Hasil penaksiran volatilitas untuk masing-masing periode perdagangan menunjukkan bahwa model *P-EWMA* adalah model terbaik dalam memperkirakan volatilitas indeks LQ45. Kebaikan dari model *P-EWMA* yang mengasumsikan bahwa *return* indeks LQ45 berdistribusi *GED* sehingga nilai perkiraan ragam mendekati nilai ragam aktual.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brigham EF, Houston JF. 2006. *Dasar - Dasar Manajemen Keuangan*. Jakarta: Penerbit Salemba Empat.
- [2] Lo MS. 2003. Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity Time Series Model [tesis]. Burnaby: Departemen of Statistics and Actuarial Science, Simon Fraser University.
- [3] Francq C, Zakoian JM. 2010. *GARCH Models*. Paris: A John Wiley and Sons, Ltd., Publication.
- [4] Higgins ML, Bera AK. 1992. A Class of Nonlinear Arch Models. *International Economic Review* 33:137-158.
- [5] Bertsekas DP. 2003. *Nonlinear Programming Second Edition*. Massachusetts: Athena Scientific.
- [6] Andersen T, Bollerslev T, Diebold FX, Ebens H. 2001. The Distribution of Realized Stock Return Volatility. *Journal of Financial Economics* 61:43-76.
- [7] Situngkir H, Surya Y. 2004. Stylized Statistical Facts of Indonesian Financial Data: Empirical Study of Several Stock Indexes in Indonesia. *Proceeding Simposium Fisika Nasional, XX 2004*. hlm 173-178.
- [8] Usman H, Akbar HU. 2008. *Pengantar Statistik*. Jakarta: Penerbit Bumi Aksara.

PENYELESAIAN MASALAH NILAI BATAS PADA MODEL OPSI *PUT* AMERIKA DENGAN VOLATILITAS STOKASTIK

Endar H. Nugrahani

Departemen Matematika, FMIPA, IPB
e_nugrahani@ipb.ac.id

ABSTRAK

Salah satu parameter finansial pada kontrak opsi yang harus mendapatkan perhatian adalah volatilitas, yaitu nilai ukuran variasi dari harga aset yang mendasari opsi. Opsi Amerika dapat dieksekusi pada sembarang waktu sampai saat jatuh tempo. Menentukan harga opsi Amerika pada prinsipnya adalah menyelesaikan suatu proses mundur dengan nilai batas bebas tertentu. Karena opsi tipe Amerika tidak memiliki penyelesaian analitis, sehingga umumnya penyelesaian harus diberikan secara numerik. Makalah ini menyajikan beberapa formulasi nilai batas pada model penilaian opsi *put* Amerika, secara khusus diberikan penekanan pada model dengan volatilitas stokastik.

Katakunci: opsi *put* amerika, masalah nilai batas, volatilitas stokastik

1 PENDAHULUAN

Kontrak opsi adalah perjanjian antara dua pihak yang memberikan hak kepada salah satu pihak, untuk menjual atau membeli aset pada harga yang telah disepakati sampai waktu jatuh tempo. Pada dasarnya ada dua tipe opsi, yaitu opsi *put* dan opsi *call*. Opsi *put* adalah kontrak opsi yang memberikan hak kepada pemiliknya untuk menjual sejumlah aset. Sedangkan opsi *call* adalah kontrak opsi yang memberikan hak kepada pemiliknya untuk membeli sejumlah aset yang mendasari.

Berdasarkan waktu eksekusinya, kontrak opsi dibedakan atas opsi Amerika atau Eropa. Opsi Amerika adalah kontrak opsi yang dapat dieksekusi kapan saja antara tanggal pembelian sampai dengan tanggal jatuh tempo (*expiration date*). Sedangkan opsi Eropa adalah opsi yang hanya dapat dieksekusi pada saat tanggal jatuh tempo. Untuk mendapatkan kontrak opsi, investor harus mengeluarkan biaya (premi) dan pembayarannya dilakukan pada saat kontrak dibuat, yang disebut juga dengan nilai opsi [1,2].

Pada opsi tipe Eropa, teori penilaian opsi telah dikembangkan sejak tahun 1973 oleh Black dan Scholes dalam bentuk penyelesaian persamaan diferensial parsial Black-Scholes. Di samping itu, Merton mempublikasikan hasil karyanya yang merupakan perluasan dari formula Black-Scholes yaitu formula Black-Scholes-Merton untuk nilai opsi Eropa [1].

Setelah itu, beberapa peneliti lain berhasil memodelkan opsi Amerika dengan melakukan penyesuaian argumentasi terhadap penurunan persamaan Black-Scholes. Dengan penyesuaian argumentasi ini, akan diperoleh model formula Black-Scholes untuk opsi Amerika dalam bentuk ketaksamaan [2]. Berbeda dengan opsi Eropa yang nilainya dapat ditentukan secara analitis menggunakan persamaan Black-Scholes, maka opsi Amerika hanya dapat diselesaikan secara numerik terhadap ketaksamaan Black-Scholes tersebut.

Aset yang mendasari opsi umumnya adalah aset yang memiliki kecenderungan berubah nilainya seiring perubahan waktu karena diperdagangkan, misalkan saham. Salah satu parameter finansial yang harus mendapatkan perhatian adalah volatilitas, yaitu nilai ukuran variasi dari harga aset tersebut.

Tahap penting dalam penilaian opsi Amerika adalah menemukan batas eksekusi awal, yang menunjukkan keadaan kapan opsi sebaiknya dieksekusi sebelum jatuh tempo. Akan tetapi, penyelesaian eksplisit masalah nilai awal ini tidak diketahui karena tidak terdapat bentuk eksplisit dari syarat batasnya. Dalam makalah ini disajikan pendugaan syarat batas eksekusi awal pada opsi *put* Amerika, dengan parameter volatilitas diasumsikan konstan serta dibandingkan dengan volatilitas stokastik.

2 MODEL OPSI EROPA vs AMERIKA

2.1 Model Opsi Eropa

Sebagai aset yang mendasari opsi, harga saham diasumsikan mengikuti proses Itô [1] berikut

$$dS = \mu S dt + \sigma S dW(t). \quad (1)$$

dengan dS menyatakan perubahan harga saham pada interval waktu dt , μ adalah parameter konstan yang menyatakan tingkat rata-rata pertumbuhan harga saham dan σ volatilitas harga saham. Pada model ini parameter volatilitas σ diasumsikan bernilai konstan. Dengan model tersebut, dapat ditunjukkan bahwa harga saham pada saat t memiliki distribusi log-normal, yaitu

$$\ln S \sim N\left(\ln S_0 + \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t, \sigma\sqrt{t}\right).$$

$N(\mu, \sigma)$ melambangkan distribusi normal dengan nilai tengah μ dan ragam σ^2 , S_0 adalah harga saham awal. Apabila tingkat pertumbuhan harga saham μ dianggap sama dengan

tingkat suku bunga bebas risiko r , maka penyelesaian persamaan (1) memberikan penduga harga saham pada saat t sebagai

$$S(t) = S_0 \exp \left[\left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) t + \sigma W(t) \right]. \quad (2)$$

Misalkan $f(S, t)$ adalah suatu fungsi dari harga saham S . Lemma Itô menunjukkan bahwa $f(S, t)$ juga merupakan suatu proses stokastik yang sama dengan aset yang mendasarinya, sehingga memenuhi proses Itô menurut model berikut:

$$df = \left(\mu S \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \right) dt + \sigma S \frac{\partial f}{\partial S} dW. \quad (3)$$

Untuk menghilangkan pengaruh stokastik pada proses Wiener dW , dipilih sebuah portfolio yang diinvestasikan pada saham dan derivatif. Strategi yang dipilih adalah membeli satu opsi dan menjual $\frac{\partial f}{\partial S}$ saham. Misalnya π adalah nilai portfolio yang dimaksud, maka

$$\pi = f - \frac{\partial f}{\partial S} S. \quad (4)$$

Perubahan nilai portofolio pada interval waktu dt didefinisikan sebagai

$$d\pi = df - \frac{\partial f}{\partial S} dS. \quad (5)$$

Substitusi (1) dan (3) ke (5) menghasilkan

$$d\pi = \left(\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \right) dt. \quad (6)$$

Tingkat pengembalian (*return*) dari investasi sebesar π pada saham takberisiko akan memiliki pertumbuhan sebesar $r\pi dt$ dalam interval waktu dt , dengan r adalah suku bunga bebas risiko. Agar tidak terdapat peluang arbitrase, nilai pertumbuhan ini harus sama dengan ruas kanan dari (6), yaitu :

$$r\pi dt = \left(\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \right) dt. \quad (7)$$

Substitusi (4) ke (7), menghasilkan

$$\frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} + rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{\partial f}{\partial t} - rf = 0 \quad (8)$$

yang dikenal sebagai persamaan Black-Scholes-Merton[1]. Persamaan (8) harus dipenuhi oleh semua produk derivatif f agar layak diperdagangkan, yang berarti tidak menimbulkan kesempatan arbitras.

Misalkan produk derivatif yang dimaksud adalah opsi tipe Eropa, dapat berupa opsi *put* ataupun *call*. Misalkan pula opsi tersebut memiliki masa jatuh tempo T , dengan nilai saham sekarang S_0 , volatilitas saham σ dan tingkat suku bunga r . Formula Black-Scholes untuk nilai opsi sebagai penyelesaian risiko netral dari (8) untuk nilai opsi *put* p dan opsi *call* c adalah [1]:

$$p = Ke^{-rT}N(-d_2) - S_0N(-d_1) \quad (9)$$

$$c = S_0N(d_1) - Ke^{-rT}N(d_2)$$

dengan $d_1 = \left[\ln(S_0/K) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right) T \right] / \sigma\sqrt{T}$ dan $d_2 = \frac{\left[\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) T \right]}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$.

Formula (9) untuk penilaian opsi disebut sebagai formula Black-Scholes [1].

2.2 Model Opsi Amerika dengan Eksekusi Awal

Untuk opsi tipe Amerika, persamaan (7) tidak dipenuhi karena pendapatan portfolio tidaklah lebih banyak dari suku bunga bebas risiko portfolio itu, sehingga

$$d\pi \leq r\pi dt = r \left(f - S \frac{\partial f}{\partial S} \right) dt.$$

Dengan demikian, hal itu menjadi alasan bagi pemegang opsi Amerika untuk mengontrol kapan opsi yang dimiliki akan dieksekusi. Jika eksekusinya tidak optimal, maka nilai perubahan portfolio akan kurang dari *return* tanpa risiko, sehingga didapat pertidaksamaan:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} - rf \leq 0. \quad (10)$$

Pertidaksamaan (10) adalah dikenal sebagai pertaksamaan Black-Scholes untuk opsi Amerika [1].

Jika opsi yang dimaksud adalah opsi *put* Amerika, maka kondisi batas bawah untuk opsi *put* Amerika adalah

$$f(S, t) \geq (K - S)^+. \quad (11)$$

Alasan yang mendasarinya adalah sebagai berikut: jika $f \leq K - S$ seseorang dapat membeli opsi *put* f , dan segera mengeksekusinya, yaitu dengan membeli S dan menjualnya sebesar K . Dengan demikian investor memperoleh pendapatan tak berisiko sebesar $K - S - f \geq 0$.

Misalkan $b(t)$ menyatakan harga kritis saham sedemikian sehingga opsi akan optimal apabila dieksekusi lebih awal dan $0 < b(t) < K$. Jika $S \leq b(t)$ maka opsi akan

dieksekusi, namun jika $S > b(t)$ opsi tidak dieksekusi. Dengan demikian (11) dapat dinyatakan dengan:

$$f(S, t) \begin{cases} = K - S & ; S \leq b(t) \\ > (K - S)^+ & ; S > b(t). \end{cases} \quad (12)$$

Karena $b(t)$ tidak diketahui posisinya, penyelesaian terhadap $f(S, t)$ ini disebut masalah nilai batas bebas (*free boundary-value problem*). Dengan demikian masalah nilai batas bebas dari opsi *put* Amerika dapat diformulasikan sebagai berikut [3].

Untuk $S < b(t)$:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} - rf < 0 \text{ dan } f(S, t) = K - S. \quad (13)$$

Untuk $S > b(t)$:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} - rf = 0 \text{ dan } f(S, t) > (K - S)^+. \quad (14)$$

Dengan syarat batas $\begin{cases} \lim_{S \rightarrow \infty} f(S, t) = 0 \\ \lim_{S \rightarrow 0} f(S, t) = K \end{cases}$ dan syarat akhir $f(S, t) = (K - S)^+$.

Nilai opsi f didapatkan dengan menyelesaikan (13) dan (14) apabila nilai batas $b(t)$ diberikan. Karena tidak tersedianya bentuk eksplisit dari nilai batas tersebut, maka umumnya nilai ditentukan secara numerik.

2.3 Model Volatilitas Stokastik

Salah satu kelemahan utama model Black-Scholes adalah bahwa volatilitas dari aset yang mendasari opsi diasumsikan konstan sepanjang waktu. Salah satu cara untuk mengatasi kekurangan tersebut adalah dengan memodifikasi model sehingga memiliki volatilitas stokastik [4]. Pada model tersebut, dimisalkan harga saham sebagai aset yang mendasari opsi mengikuti model gerak Brown dengan ragam bervariasi, yang disebut sebagai proses Cox-Ingersoll-Ross, yang berbentuk suatu sistem persamaan diferensial stokastik berikut:

$$dS(t) = \mu S(t)dt + \sqrt{v(t)}S(t)dw_1 \quad (15)$$

$$dv(t) = \lambda(\bar{v} - v(t))dt + \eta\sqrt{v(t)}dw_2 \quad (16)$$

$$\langle dw_1, dw_2 \rangle = \rho dt \quad (17)$$

dengan $v(t)$ adalah varians pada saat t , \bar{v} adalah rata-rata varians jangka panjang, λ adalah tingkat perubahan rata-rata, μ adalah drift dari saham, η adalah volatilitas dari varians, ρ adalah korelasi antara imbal hasil saham dan perubahan varians. Parameter korelasi dimasukkan

dalam model karena diyakini adanya fakta korelasi negatif antara imbal hasil saham dan perubahan varians.

Model dengan volatilitas stokastik dirumuskan dengan mengasumsikan bahwa batas kritis harga saham untuk eksekusi opsi Amerika bergantung pada volatilitas stokastik v , dinotasikan dengan $b(v, t)$. Nilai opsi f juga memenuhi persamaan berikut.

$$\frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \frac{\partial b}{\partial t} + \frac{\partial^2 f}{\partial S \partial t} = 0, \quad \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \frac{\partial b}{\partial v} + \frac{\partial^2 f}{\partial S \partial v} = 0, \quad \frac{\partial^2 f}{\partial S \partial v} \frac{\partial b}{\partial v} + \frac{\partial^2 f}{\partial v^2} = 0. \quad (18)$$

Selanjutnya menggunakan argumentasi non-arbitras pada sistem persamaan diferensial stokastik (15) – (17), dapat disusun model sistem persamaan diferensial parsial bagi nilai opsi f beserta syarat batas berikut.

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2} v S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} + \frac{1}{2} \eta^2 v \frac{\partial^2 f}{\partial v^2} + \rho \eta S \frac{\partial^2 f}{\partial v \partial S} + r S \frac{\partial f}{\partial S} + \lambda(\bar{v} - v) \frac{\partial f}{\partial v} - r f \quad (19)$$

$$f(v, b(v, t), t) = K - b(v, t) \quad (20)$$

$$\frac{\partial f(v, b(v, t), t)}{\partial S} = -1, \quad \frac{\partial f(v, b(v, t), t)}{\partial v} = 0. \quad (21)$$

Sedangkan persamaan diferensial bagi nilai batas $b(v, t)$, adalah

$$\frac{1}{2} v b^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} - \rho \eta v b \left(\frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \right) \frac{\partial b}{\partial v} + \frac{1}{2} \eta^2 v \left(\frac{\partial b}{\partial v} \right)^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} - r k = 0. \quad (22)$$

Menggunakan (18) – (22) didapatkan nilaia batas $\mathbf{b(v, t)}$ sebagai penyelesaian dari persamaan berikut.

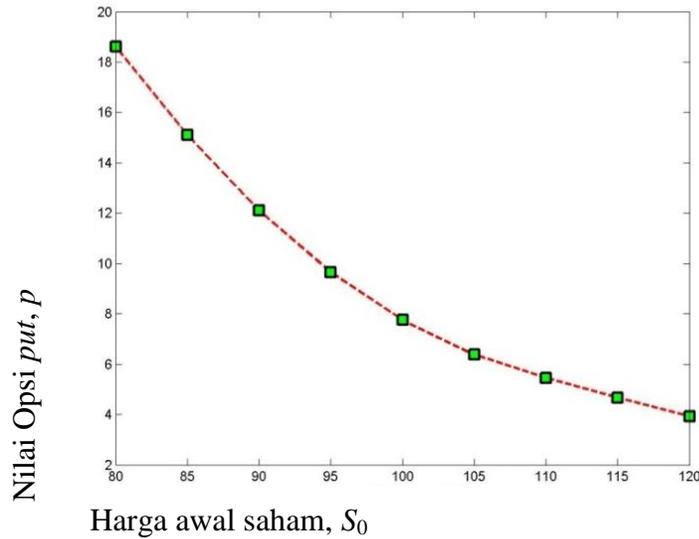
$$\frac{\partial b}{\partial t} = - \frac{\partial g(v, b(v, t), t)}{\partial S} \frac{1}{rK} \left(\frac{1}{2} v b^2 - \rho \eta v b \frac{\partial b}{\partial v} + \frac{1}{2} \eta^2 v \left(\frac{\partial b}{\partial v} \right)^2 \right). \quad (23)$$

Persamaan (23) dapat diselesaikan apabila nilai awal bagi \mathbf{g} diketahui. Akan tetapi nilai awal tersebut relatif sulit untuk diperoleh, sehingga prosedur numerik diperlukan untuk meduganya.

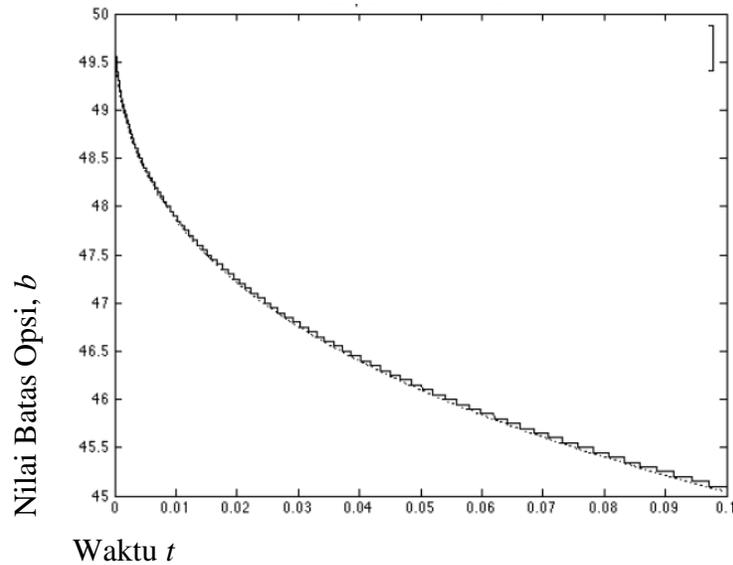
3 SIMULASI

Sebagai ilustrasi, berikut disajikan beberapa hasil simulasi dari berbagai sumber. Pertama, penyelesaian masalah nilai batas secara numerik untuk penentuan nilai opsi put

Amerika dengan volatilitas konstan pada berbagai nilai saham awal S_0 [5] diberikan pada Gambar 1. Sedangkan ilustrasi penyelesaian numerik untuk model volatilitas stokastik [4] diberikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Hasil simulasi numerik opsi *put* Amerika dengan volatilitas konstan.



Gambar 2. Hasil simulasi numerik nilai batas opsi *put* Amerika dengan volatilitas stokastik.

Hasil simulasi terhadap nilai opsi pada kasus volatilitas konstan pada Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai opsi *put* memiliki kecenderungan nilai yang menurun apabila harga saham awal

sebagai aset yang mendasari opsi mengalami penurunan. Sedangkan hasil simulasi terhadap nilai batas opsi *put* Amerika pada Gambar 2 menunjukkan bahwa dengan semakin lama waktu untuk melakukan aksekusi awal, maka nilai batas b akan semakin menurun.

4 SIMPULAN

Opsi *put* Amerika, yang memiliki keleluasaan waktu eksekusi, dapat ditentukan nilainya dengan menyelesaikan masalah nilai batas bebas secara numerik, baik pada kasus asumsi volatilitas konstan maupun volatilitas stokastik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hull JC. 2006. *Options, Futures, and Other Derivatives*. 6th Ed. Toronto: Prentice Hall International Inc.
- [2] Wilmott P, Howison S & Dewynne J. 1996. *The Mathematics of Financial Derivatives*. Cambridge University Press, USA.
- [3] Pauly O. 2004. *Numerical Simulation of American Option*. Universität Ulm, Germany.
- [4] Mitchell D, Goodman J. 2009. An Accurate Representation of the Early Exercise Boundary of American Options with Stochastic Volatility. Working Paper #2009-3, Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University.
- [5] Nugrahani EH, Syazali M, Suritno. 2011. Penilaian Opsi *Put* Amerika dengan Metode Monte Carlo dan Metode Beda Hingga. Prosiding Seminar Nasional Sains IV, Fakultas MIPA IPB, Bogor.

BATAS ATAS ITERASI METODE TITIK INTERIOR DENGAN CENTRAL PATH DALAM MENYELESAIKAN MASALAH OPTIMASI LINEAR.

BIB PARUHUM SILALAH

Departemen Matematika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Pertanian Bogor
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor, 16680 Indonesia

ABSTRAK. Dalam makalah ini disajikan penyelesaian masalah optimasi linear dengan metode titik interior dengan mengikuti apa yang disebut dengan *central path*. Pendekatan yang digunakan dalam metode titik interior ini (dalam mengikuti *central path*) adalah metode titik interior primal-dual dengan langkah full-Newton. Batas atas iterasi dari metode ini adalah polinomial. *Key words:* batas atas, *central path*, langkah full-Newton, metode titik interior.

1. OPTIMASI LINEAR DAN SEJARAHNYA

Permasalahan optimasi linear (OL) adalah suatu permasalahan dimana seseorang ingin meminimumkan atau memaksimumkan suatu fungsi linear (disebut fungsi tujuan), dengan kendala-kendala yang dinyatakan dalam persamaan linear dan/atau pertaksamaan linear.

1.1. Metode simpleks. Optimasi linear tampil menjadi model matematika setelah perang dunia ke-2, yaitu ketika Dantzig memaparkan metode simpleks untuk menyelesaikan masalah program linear [1]. Daerah fisibel dari masalah OL adalah suatu polihedron. Dalam mencari solusi optimal, metode simpleks bergerak dari vertex ke vertex. Metode ini dirancang sedemikian rupa sehingga dalam pergerakan dari satu vertex ke vertex selanjutnya, nilai fungsi tujuan berubah secara monoton menuju nilai optimal.

Penemuan fenomenal Dantzig ini telah menginspirasi banyak penelitian. Metode simpleks menjadi 10 algoritme paling top pada abad kedua puluh [2]. Terdapat banyak varian dari metode simpleks yang dibedakan berdasarkan aturan untuk memilih vertex selanjutnya, aturan ini disebut dengan aturan pivot.

Kesuksesan metode simpleks telah menimbulkan beberapa pertanyaan. Salah satu pertanyaan pada saat itu adalah: apakah ada

masalah optimasi linear yang memerlukan iterasi eksponensial bila diselesaikan dengan metode simpleks. Pertanyaan tersebut dijawab pada tahun 1972 oleh Klee dan Minty [7]. Klee dan Minty memberikan contoh masalah OL dengan $2n$ pertidaksamaan, dimana metode simpleks memerlukan $2^n - 1$ iterasi untuk menyelesaikan permasalahan Klee dan Minty. Aturan pivot yang digunakan adalah *Dantzig's classic most-negative-reduce-cost pivot rule*.

Berikut adalah masalah Klee-Minty dimensi n :

$$\begin{aligned} \min \quad & y_n \\ \text{kendala} \quad & \rho y_{k-1} \leq y_k \leq 1 - \rho y_{k-1}, \quad k = 1, \dots, n, \end{aligned} \tag{1}$$

dimana ρ adalah bilangan positif lebih kecil dari setengah dan $y_0 = 0$. Dapat diverifikasi bahwa jumlah vertex di dalam domain masalah Klee-Minty ada sebanyak 2^n . Klee-Minty menunjukkan bahwasanya dengan aturan pivot Dantzig, metode simpleks akan mengunjungi semua verteks, yang berarti waktu komputasi yang diperlukan adalah eksponensial. Sejak itu hampir untuk semua aturan pivot metode simpleks dapat diberikan contoh yang memerlukan waktu eksponensial.

1.2. Metode Elipsoid. Kelemahan metode simpleks (setidaknya secara teori), memacu penelitian untuk mencari metode lain yang dapat menyelesaikan masalah OL dengan waktu polinomial seiring bertambahnya jumlah pertidaksamaan. Algoritme waktu polinomial pertama untuk masalah OL adalah metode elipsoid. Kachiyan, pada tahun 1979, adalah orang pertama yang menghantarkan metode elipsoid sebagai algoritme waktu polinomial pertama untuk masalah OL [5]. Kachiyan membuktikan bahwa metode elipsoid menyelesaikan masalah OL dengan $O(n^2L)$ iterasi, dengan jumlah total operasi aritmatika $O(n^5L)$, dimana n adalah jumlah pertidaksamaan dan L panjang total bit input data. Kemudian pada paper selanjutnya [6], Kachiyan memberikan batas yang lebih baik, $O(n^4L)$, untuk jumlah total operasi aritmatika.

Hasil yang diperoleh Kachiyan, menyebabkan metode elipsoid dipelajari lebih intensif, baik secara teori maupun dari aspek aplikasinya. Harapannya metode elipsoid dapat menyelesaikan masalah OL lebih cepat dibandingkan dengan metode simpleks. Tetapi hasil yang diperoleh tidak seperti yang diharapkan. Dalam aplikasinya metode simpleks lebih baik dari metode elipsoid.

1.3. Metode-metode Titik Interior. Terobosan yang sungguh-sungguh efektif untuk menyelesaikan masalah OL terjadi pada tahun 1984, ketika Karmarkar mengusulkan metode waktu polinomial yang dikenal dengan nama metode projektif Karmarkar untuk menyelesaikan masalah OL. Tidak seperti metode simpleks yang iterasinya berada pada batas-batas domain, metode Karmarkar bergerak di dalam interior dari domain untuk memperoleh solusi optimal.

Untuk kasus terburuk, suatu problem dengan n pertidaksamaan dan L bit input data, metode Karmarkar memerlukan $O(nL)$ iterasi, dan $O(n^{3.5}L)$ operasi aritmatika. Secara teori waktu komputasi metode Karmarkar lebih baik dari metode elipsoid. Karmarkar juga menyatakan bahwa algoritme ini tidak hanya efisien dalam teori, tetapi juga efisien dalam aplikasinya. Paper Karmarkar memulai revolusi dalam bidang optimasi. Karmarkar telah membangkitkan suatu kelas metode untuk menyelesaikan masalah optimasi yaitu dengan menggunakan pendekatan interior dari domain. Kelas metode ini dikenal dengan nama metode-metode titik interior.

Salah satu cara yang sering digunakan dalam metode titik interior adalah dengan menggunakan *central path*, sebagai panduan menuju solusi optimal. Metode *small-update path-following*, metode yang menggunakan *central path*, dipresentasikan oleh [4], Monteiro dan Adler [8] dan Roos dan Vial [10]. Metode mereka memerlukan $O(\sqrt{n}L)$ iterasi, yang merupakan batas atas terbaik yang diketahui untuk metode-metode titik interior.

Roos, Terlaky dan Vial [9] mendapatkan batas atas yang sama dengan menggunakan algoritme yang disebut dengan primal-dual langkah full-Newton. Batas atas iterasi mereka dinyatakan dalam:

$$\left[\sqrt{2n} \ln \frac{n\mu^0}{\epsilon} \right], \quad (2)$$

dimana $\mu^0 > 0$ menotasikan nilai awal barrier parameter, dan ϵ adalah akurasi mutlak dari fungsi tujuan. Buku tersebut menerangkan bahwa bila seseorang memilih nilai ϵ yang cukup kecil maka batas atas akan ekuivalen dengan $O(\sqrt{n}L)$.

Kami di dalam paper ini mempresentasikan metode primal-dual langkah full-Newton dengan batas atas yang sedikit lebih baik:

$$\left[\sqrt{n+1} \ln \frac{n\mu^0}{\epsilon} \right]. \quad (3)$$

2. MASALAH OPTIMASI LINEAR DALAM BENTUK STANDAR

Bentuk standar dari masalah OL adalah:

$$\min \{c^T x : Ax = b, x \geq 0\}, \quad (P)$$

dimana $c, x \in R^n$, $b \in R^m$ dan $A \in R^{m \times n}$. Diasumsikan A adalah matriks pangkat baris penuh m . Sebarang masalah OL dapat diubah ke bentuk standar, dengan menambahkan variabel-variabel baru [3].

Masalah (P) disebut dengan masalah *primal*. Untuk sebarang masalah OL terdapat masalah OL lain yang berpadanan yang disebut dengan masalah *dual*, yang mengandung data (A, b, c) yang sama, tetapi disusun dengan cara yang berbeda. Dual problem dari (P) adalah:

$$\max \{b^T y : A^T y + s = c, s \geq 0\}, \quad (D)$$

dimana $s \in R^n$ dan $y \in R^m$.

Daerah fisibel (P) dan (D) masing-masing dinotasikan dengan \mathcal{P} dan \mathcal{D} :

$$\mathcal{P} := \{x : Ax = b, x \geq 0\},$$

$$\mathcal{D} := \{(y, s) : A^T y + s = c, s \geq 0\}.$$

Interior dari \mathcal{P} dan \mathcal{D} dinotasikan dengan \mathcal{P}° dan \mathcal{D}° :

$$\mathcal{P}^\circ := \{x : Ax = b, x > 0\},$$

$$\mathcal{D}^\circ := \{(y, s) : A^T y + s = c, s > 0\}.$$

Jika \mathcal{P}° tidak kosong, dikatakan bahwa (P) fisibel ketat, hal yang sama berlaku untuk (D).

3. DUALITAS

Berikut ini adalah teorema dualitas lemah dan kuat untuk masalah OL dalam bentuk standar:

Teorema 1. (*Dualitas Lemah, ref. [9, Proposition II.1]*) *Jika x dan (y, s) masing-masing fisibel pada (P) dan (D), maka $c^T x - b^T y = x^T s \geq 0$.*

Selisih (tidak negatif)

$$c^T x - b^T y \geq 0$$

disebut dengan perbedaan dualitas pada $x \in \mathcal{P}$ dan $y \in \mathcal{D}$.

Teorema 2. (*Dualitas kuat, ref. [9, Theorem II.2]*) *Jika (P) dan (D) fisibel maka kedua masalah memiliki solusi optimal; kemudian $x \in \mathcal{P}$ dan $(y, s) \in \mathcal{D}$, merupakan solusi optimal jika dan hanya jika $x^T s = 0$. Selain itu kedua problem tidak memiliki solusi optimal.*

Berdasarkan teorema dualitas kuat, mencari solusi optimal (P) dan (D) setara dengan menyelesaikan sistem berikut:

$$\begin{aligned} Ax &= b, & x &\geq 0, \\ A^T y + s &= c, & s &\geq 0, \\ xs &= 0, \end{aligned} \tag{4}$$

dimana xs adalah perkalian komponen (perkalian Hadamard) vektor x dan s , dan 0 menotasikan vektor nol. Persamaan terakhir disebut dengan kondisi pelengkap.

4. CENTRAL PATH

Pada bagian ini akan digunakan sistem baru sebagai pendekatan sistem (4). Pada sistem baru ini kondisi pelengkap diganti dengan $xs = \mu e$, dimana μ bilangan positif dan e vektor yang semua komponennya

bernilai satu. Kondisi ini disebut dengan kondisi pemusat pada μ . Sistem baru yang kita peroleh:

$$\begin{aligned} Ax &= b, & x &\geq 0, \\ A^T y + s &= c, & s &\geq 0, \\ xs &= \mu e. \end{aligned} \tag{5}$$

Jika sistem (5) memiliki sebuah solusi untuk suatu $\mu > 0$, maka \mathcal{P}° dan \mathcal{D}° tidak kosong, pada kondisi ini kita katakan \mathcal{P} dan \mathcal{D} memenuhi kondisi titik interior (*interior-point condition* (IPC)). Jika \mathcal{P} dan \mathcal{D} memenuhi IPC, maka sistem (5) memiliki sebuah solusi untuk sebarang $\mu > 0$. Oleh karena itu jika sistem (5) memiliki sebuah solusi untuk suatu $\mu > 0$, maka sistem (5) memiliki solusi untuk semua $\mu > 0$. Dan ini terjadi jika dan hanya jika IPC terpenuhi.

Solusi sistem (5) pada μ , dinotasikan dengan $x(\mu), y(\mu)$ dan $s(\mu)$. Kita menyebut $x(\mu)$ dengan μ -center (P) dan $(y(\mu), s(\mu))$ dengan μ -center (D).

Jika μ bergerak sepanjang $(0, \infty)$ maka $x(\mu)$ membentuk suatu kurva pada \mathcal{P}° yang disebut dengan *central path* (P). Hal yang sama, himpunan $\{(y(\mu), s(\mu)) : \mu \in (0, \infty)\}$ disebut *central path* (D).

Jika $\mu \rightarrow 0$ maka $x(\mu), y(\mu)$ dan $s(\mu)$ konvergen ke sebuah solusi dari (4), yang berarti *central path* konvergen ke himpunan solusi optimal (P) dan (D). Pada sisi lain jika $\mu \rightarrow \infty$ maka $x(\mu)$ dan $(y(\mu), s(\mu))$ konvergen ke apa yang disebut dengan *analytic center* (P) dan (D).

Sepanjang primal *central path*, pergerakan dari *analytic center* ke solusi optimal, nilai fungsi tujuan primal $c^T x(\mu)$ monoton turun dan sepanjang dual *central path*, nilai fungsi tujuan dual $b^T y(\mu)$ monoton naik (ref. [9, Chapter 5]).

5. LANGKAH NEWTON

Bagian ini akan menerangkan bagaimana metode Newton digunakan untuk mencari solusi hampiran sistem (5), untuk suatu μ . Diberikan pasangan fisibel primal-dual $(x, (y, s))$, kita ingin memperoleh arah $\Delta x, \Delta y$ dan Δs sehingga $(x + \Delta x, y + \Delta y, s + \Delta s)$ memenuhi (5). Dengan kata lain,

$$\begin{aligned} A(x + \Delta x) &= b, \\ A^T(y + \Delta y) + s + \Delta s &= c, \\ (x + \Delta x)(s + \Delta s) &= \mu e. \end{aligned}$$

Karena $Ax = b$ dan $A^T y + s = c$, sistem setara dengan sistem berikut:

$$\begin{aligned} A\Delta x &= 0, \\ A^T \Delta y + \Delta s &= 0, \\ s\Delta x + x\Delta s + \Delta x\Delta s &= \mu e - xs. \end{aligned}$$

Persamaan ketiga merupakan persamaan nonlinear, sehubungan dengan term kuadratik $\Delta x \Delta s$. Dengan mengabaikan term ini, menurut metode Newton untuk menyelesaikan persamaan nonlinear, diperoleh sistem linear berikut:

$$\begin{aligned} A\Delta x &= 0, \\ A^T \Delta y + \Delta s &= 0, \\ s\Delta x + x\Delta s &= \mu e - xs. \end{aligned} \tag{6}$$

Koefisien matriks sistem (6) adalah:

$$\begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & A^T & I \\ S & 0 & X \end{bmatrix},$$

dimana $X = \text{diag}(x)$ dan $S = \text{diag}(s)$. Karena A merupakan matriks dengan pangkat baris penuh dan vektor x dan s positif, koefisien matriks adalah nonsingular. Oleh karena itu (6) memiliki solusi unik. Arah yang dihasilkan dikenal sebagai arah primal-dual Newton. Dengan mengambil langkah pada arah ini, kita memperoleh:

$$\begin{aligned} x^+ &= x + \alpha \Delta x, \\ y^+ &= y + \alpha \Delta y, \\ s^+ &= s + \alpha \Delta s, \end{aligned} \tag{7}$$

dimana α adalah ukuran langkah. Jika $\alpha = 1$, maka langkah di atas dikenal dengan nama langkah full-Newton.

5.1. Ukuran kedekatan. Dalam proses menuju solusi optimal, dengan mengikuti *central path*, menggunakan langkah Newton, dibangkitkan barisan titik-titik di sekitar *central path*. Diperlukan suatu alat untuk mengukur kedekatan $(x, (y, s))$ ke μ -center. Sebelum mendefinisikan ukuran kedekatan, sistem linear (6) direformulasi, dengan penskalaan $\Delta x, \Delta y$ dan Δs ke d_x, d_y dan d_s sebagai berikut (perkalian/pembagian dua vektor adalah perkalian/pembagian Hadamard)

$$d_x = \frac{v\Delta x}{x}, \quad d_y = \frac{\Delta y}{\sqrt{\mu}}, \quad d_s = \frac{v\Delta s}{s},$$

dimana

$$v = \sqrt{\frac{xs}{\mu}}.$$

Jika didefinisikan $D = \text{diag}(\sqrt{x/s})$ maka sistem (6) ekuivalen dengan

$$\begin{aligned} ADd_x &= 0, \\ (AD)^T d_y + d_s &= 0, \\ d_x + d_s &= v^{-1} - v. \end{aligned} \tag{8}$$

Persamaan pertama sistem (8) memperlihatkan bahwa vektor d_x dan d_s merupakan *null space* dan *row space* matriks AD. Oleh karena itu d_x dan d_s ortogonal, yang berimplikasi:

$$\begin{aligned}\|d_x\|^2 + \|d_s\|^2 &= \|d_x + d_s\|^2 \\ &= \|v^{-1} - v\|^2.\end{aligned}$$

Perhatikan bahwa d_x, d_s (dan juga d_y) adalah nol jika dan hanya jika $v^{-1} - v = 0$, yang terjadi hanya jika $v = e$, dan kemudian x, y dan s tepat dengan μ -center masing-masing. Oleh karena itu untuk mengukur 'jarak' $(x, (y, s))$ ke μ -center, digunakan $\delta(x, s; \mu)$ yang didefinisikan sbb:

$$\delta(x, s; \mu) := \delta(v) := \frac{1}{2} \|v^{-1} - v\|^2. \quad (9)$$

Untuk sebarang $\tau \geq 0$, tetangga- τ dari μ -center diberikan oleh himpunan

$$\{(x, y, s) : x \in \mathcal{P}, (y, s) \in \mathcal{D}, \delta(x, s; \mu) \leq \tau\}.$$

6. METODE TITIK INTERIOR PRIMAL-DUAL DENGAN LANGKAH FULL-NEWTON

Dengan langkah full-Newton iterasi yang baru diberikan oleh:

$$\begin{aligned}x^+ &= x + \Delta x, \\ y^+ &= y + \Delta y, \\ s^+ &= s + \Delta s.\end{aligned} \quad (10)$$

Setelah langkah full-Newton, perbedaan dualitas pada iterasi baru memenuhi $(x^+)^T s^+ = n\mu$ (ref. [9, Theorem II.47]). Metode titik interior primal-dual dengan langkah full-Newton dapat dilihat pada Gambar 1.

6.1. Analisa langkah Newton. Lemma berikut menyatakan efek dari sebuah langkah full-Newton terhadap ukuran kedekatan:

Lemma 1. (ref. [9, Theorem II.50]) *Jika $\delta := \delta(x, s; \mu) \leq 1$, maka primal-dual langkah Newton fisibel, yaitu x^+ dan s^+ tidak negatif. Kemudian, jika $\delta < 1$, maka x^+ dan s^+ positif dan*

$$\delta(x^+, s^+; \mu) \leq \frac{\delta^2}{\sqrt{2(1 - \delta^2)}}.$$

Akibatnya ketika $\delta(x, s; \mu)$ cukup kecil maka primal-dual langkah Newton konvergen secara kuadratik, seperti dinyatakan pada Corollary 1.

Corollary 1. *If $\delta := \delta(x, s; \mu) \leq \frac{1}{\sqrt{2}}$, then $\delta(x^+, s^+; \mu) \leq \delta^2$.*

Metode titik interior primal-dual dengan langkah full-Newton

Input:

parameter akurasi $\epsilon > 0$;
parameter kedekatan τ , $0 \leq \tau < 1$;
 (x^0, y^0, s^0) fisibel ketat, $(x^0)^T s^0 = n\mu^0$ dan $\delta(x^0, s^0; \mu^0) \leq \tau$;
parameter update barrier θ , $0 < \theta < 1$.

begin

$x := x^0$; $s := s^0$; $y = y^0$; $\mu := \mu^0$;

while $n\mu \geq \epsilon$ do

$\mu := (1 - \theta)\mu$;

$x := x + \Delta x$;

$y := y + \Delta y$;

$s := s + \Delta s$;

endwhile

end

GAMBAR 1. Metode titik interior primal-dual dengan langkah full-Newton.

7. BATAS ATAS ITERASI

Pada kondisi awal perbedaan dualitas adalah $n\mu^0$. Pada setiap iterasi, perbedaan dualitas berkurang dengan faktor $1 - \theta$. Oleh karena itu diperoleh lemma berikut.

Lemma 2. *Algoritme akan berhenti setelah paling banyak*

$$\left\lceil \frac{1}{\theta} \log \frac{n\mu^0}{\epsilon} \right\rceil$$

iterasi, dan $n\mu \leq \epsilon$.

Sekarang perhatikan $\delta^+ := \delta(x, s; \mu^+)$, ukuran kedekatan setelah mengupdate parameter barrier menjadi $\mu^+ = (1 - \theta)\mu$. Karena $v^+ = v/\sqrt{1 - \theta}$, diperoleh:

$$(\delta^+)^2 = \frac{1}{4} \left\| \frac{\sqrt{1 - \theta}}{v} - \frac{v}{\sqrt{1 - \theta}} \right\|^2 = \frac{1}{4} \left\| \sqrt{1 - \theta}(v^{-1} - v) + \frac{\theta v}{\sqrt{1 - \theta}} \right\|^2.$$

Dari $x^T s = n\mu$ diperoleh $\|v\|^2 = n$. Karenanya

$$v^T(v^{-1} - v) = n - \|v\|^2 = 0,$$

jadi v ortogonal terhadap $v^{-1} - v$. Sebagai akibatnya,

$$(\delta^+)^2 = \frac{1 - \theta}{4} \|v^{-1} - v\|^2 + \frac{\theta^2 \|v\|^2}{4(1 - \theta)}.$$

Karena $\|v^{-1} - v\| = 2\delta$ dan $\|v\|^2 = n$,

$$(\delta^+)^2 = (1 - \theta)\delta^2 + \frac{\theta^2 n}{4(1 - \theta)}.$$

Oleh karena itu kita memperoleh lemma berikut.

Lemma 3. Misal (x, s) adalah pasangan primal-dual positif dan $\mu > 0$ sehingga $x^T s = n\mu$. Kemudian, $\delta := \delta(x, s; \mu)$ dan $\mu^+ = (1 - \theta)\mu$. Diperoleh

$$\delta(x, s; \mu^+)^2 = (1 - \theta)\delta^2 + \frac{\theta^2 n}{4(1 - \theta)}.$$

Ambil $\tau = 1/\sqrt{2}$. Menggunakan Corollary 1, $\delta(x, s; \mu) \leq 1/\sqrt{2}$, setelah langkah primal-dual full-Newton diperoleh $\delta(x^+, s^+; \mu) \leq 1/2$. Kemudian, setelah mengupdate parameter barrier menjadi $\mu^+ = (1 - \theta)\mu$ dengan $\theta = 1/\sqrt{n+1}$, menggunakan Lemma 3, didapat batas atas $\delta(x^+, s^+; \mu^+)^2$:

$$\delta(x^+, s^+; \mu^+)^2 \leq \frac{1 - \theta}{4} + \frac{\theta^2 n}{4(1 - \theta)} = \frac{1}{2}.$$

Persamaan terakhir diperoleh dengan substitusi $\theta = 1/\sqrt{n+1}$. Oleh karenanya, diperoleh $\delta(x^+, s^+; \mu^+) \leq 1/\sqrt{2} = \tau$. Ini berarti properti

$$\delta(x, s; \mu) \leq \tau$$

dipertahankan setelah setiap iterasi. Selanjutnya, mengkombinasikan hasil yang baru diperoleh dengan Lemma 2, kita memperoleh teorema yang kita inginkan.

Teorema 3. Jika $\tau = 1/\sqrt{2}$ dan $\theta = 1/\sqrt{n+1}$, maka algoritme memerlukan paling banyak

$$\left\lceil \sqrt{n+1} \log \frac{n\mu^0}{\epsilon} \right\rceil$$

iterasi. Output yang diperoleh berupa pasangan primal-dual pair (x, s) dengan $x^T s \leq \epsilon$.

KEPUSTAKAAN

- [1] G.B. Dantzig. *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press, Princeton N.J, 1963.
- [2] J. Dongarra and F. Sullivan. Guest editors introduction to the top 10 algorithms. *Computing in Science and Engineering*, 2(1):22–23, 2000.
- [3] D. Goldfarb and M.J. Todd. Linear programming. In G.L. Nemhauser, A.H.G. Rinnooy Kan, and M.J. Todd, editors, *Optimization*, volume 1 of *Handbooks in Operations Research and Management Science*, pages 141–170. North Holland, Amsterdam, The Netherlands, 1989.
- [4] C.C. Gonzaga. An algorithm for solving linear programming problems in $O(n^3L)$ operations. In N. Megiddo, editor, *Progress in Mathematical Programming : Interior Point and Related Methods*, pages 1–28. Springer Verlag, New York, 1989.

- [5] L.G. Khachiyan. A polynomial algorithm in linear programming. *Doklady Akademiia Nauk SSSR*, 244:1093–1096, 1979. Translated into English in *Soviet Mathematics Doklady* 20, 191–194.
- [6] L.G. Khachiyan. Polynomial algorithms in linear programming. *Zhurnal Vychisditel'noi Matematiki i Matematicheskoi Fiziki*, 20:51–68, 1980. Translated into English in *USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics* 20:53–72.
- [7] V. Klee and G.J. Minty. How good is the simplex algorithm? In *Inequalities, III (Proc. Third Sympos., Univ. California, Los Angeles, Calif., 1969; dedicated to the memory of Theodore S. Motzkin)*, pages 159–175. Academic Press, New York, 1972.
- [8] R.D.C. Monteiro and I. Adler. Interior-path following primal-dual algorithms. Part I : Linear programming. *Mathematical Programming*, 44:27–41, 1989.
- [9] C. Roos, T. Terlaky, and J.-Ph. Vial. *Interior Point Methods for Linear Optimization*. Springer, New York, 2006. Second edition of Theory and Algorithms for Linear Optimization, Wiley, Chichester, 1997.
- [10] C. Roos and J.-Ph. Vial. A polynomial method of approximate centers for the linear programming problem. *Mathematical Programming*, 54:295–306, 1992.

Ilmu Komputer

PENENTUAN RUTE OPTIMUM DALAM SUPPLY CHAIN NETWORK DENGAN ALGORITMA ANT COLONY UNTUK KOTA DAN KABUPATEN BOGOR

I. Widyastuti¹, S. H. Wijaya²

¹Departemen Ilmu Komputer FMIPA IPB,
Kampus IPB Dramaga Wing 20 Level 5 Bogor 16680, slowlyway@gmail.com

²Departemen Ilmu Komputer FMIPA IPB,
Kampus IPB Dramaga Wing 20 Level 5 Bogor 16680, sony@ipb.ac.id

ABSTRAK

Persaingan antarperusahaan semakin marak terjadi seiring berkembangnya teknologi dan permintaan pasar. Agar produk suatu perusahaan dapat bertahan dipasaran, diperlukan suatu manajemen yang dapat mengatur informasi dari produsen ke konsumen dengan efektif dan efisien. Pada penelitian ini, menitikberatkan cara pendistribusian produk melalui jalur dengan jarak terpendek, yaitu memanfaatkan Algoritma Ant Colony. Sistem ini menggunakan Google Maps untuk merepresentasikan rute hasil dari Algoritma Ant Colony.

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan Algoritma Ant Colony pada sebuah sistem untuk mencari rute optimum pendistribusian. Hasil dari sistem ini berupa rute optimum dengan akurasi sebesar 92%.

Katakunci: Algoritma Ant Colony, graf terboboti, rute pendistribusian, rute terpendek

I PENDAHULUAN

Persaingan antarperusahaan semakin marak terjadi seiring berkembangnya teknologi dan permintaan pasar. Suatu perusahaan bisa bertahan di pasaran adalah dengan melakukan manajemen pemasaran dan pendistribusian dengan baik. Perusahaan tersebut harus mengintegrasikan antara arus informasi barang dan jasa mulai dari pemasok sampai ke konsumen sehingga dapat menambah keuntungan dari perusahaan. Proses integrasi ini sering disebut dengan manajemen rantai pasok (*supply chain management*).

Salah satu faktor yang dalam *supply chain management* yang merupakan faktor utama dalam pemasaran produk adalah *supply chain network*. *Supply chain network* dibagi menjadi dua bagian, yaitu lokasi dan jalur produksi. Penentuan jalur produksi yang tepat dapat meminimalkan waktu distribusi dan jarak tempuh.

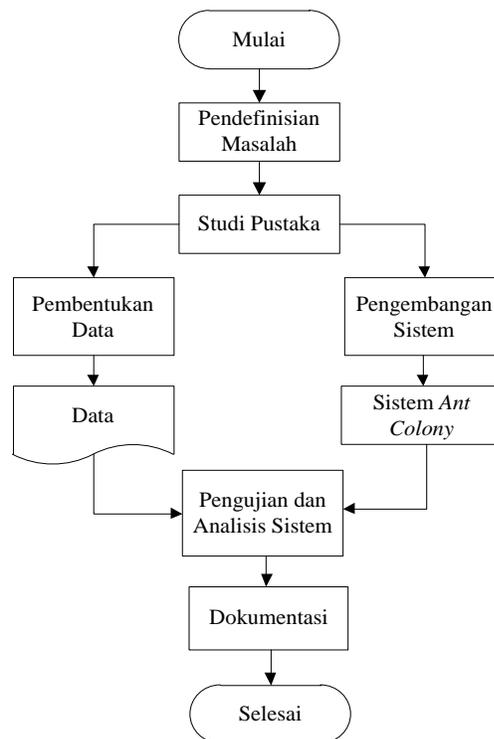
Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pencarian rute optimum daerah Bogor menggunakan Algoritma Genetika [1]. Ada pula penelitian sebelumnya tentang penentuan

lokasi dan jalur distribusi daerah Bogor menggunakan Algoritma Dijkstra [2]. Perbedaan dari kedua Algoritma Genetika dan Algoritma Dijkstra adalah Algoritma Genetika merupakan salah satu metode heuristik. Sedangkan Algoritma Dijkstra adalah salah satu metode konvensional. Kelebihan dari Algoritma *Ant Colony* antara lain: dapat memberikan alternatif jawaban, memberikan *positive feedback* dalam menentukan solusi dengan cepat.

Penelitian ini merancang *supply chain network* yang berfokus pada penentuan jalur distribusi untuk mendapatkan rute optimum dengan jarak tempuh terpendek. Hasil dari perancangan ini diimplementasikan dalam bentuk *website* yang dapat memudahkan perusahaan dalam pengaksesannya.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahapan. Gambar 1 menunjukkan metode yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1 Metode penelitian.

2.1 Pendefinisian Masalah

Tahap ini menentukan permasalahan yang dapat dipecahkan melalui penelitian ini. Masalah yang diambil untuk penelitian ini adalah penentuan rute optimum dalam *supply chain network* menggunakan Algoritma *Ant Colony*.

2.2 Studi Pustaka

Tahap studi pustaka, merupakan tahapan dimana pengumpulan informasi dan literatur yang berkaitan dengan penelitian terkait.

2.3 Pembentukan Data

Penelitian kali ini menggunakan data peta jalan dan beberapa persimpangan di Kota dan Kabupaten Bogor Barat. Data diubah menjadi bentuk graf, komponen dalam graf berupa *node*, yang merepresentasikan persimpangan, dan *edge* yang merepresentasikan ruas jalan. Setelah graf terbentuk, data yang dibutuhkan selanjutnya adalah data jarak dan waktu antar-*node*. Data yang digunakan dari penelitian Marwantoni [1], dengan beberapa tambahan tempat jual beli.

Representasi graf menggunakan Google Maps, sehingga membutuhkan data tambahan lainnya berupa *latitude* dan *longitude* dari setiap *node*, dan menambahkan *encoded line* dan *level* dari *edge*.

2.4 Pengembangan Sistem

Tahap pengembangan sistem dari Algoritma *Ant Colony*, yaitu inialisasi parameter, menentukan *node* selanjutnya yang akan dituju dengan menggunakan probabilitas, menghitung jarak tempuh, dan memperbarui feromon.

1 Inialisasi parameter.

Parameter yang diinisialisasi adalah $\alpha, \beta, \tau_0, \rho, m$, dan N_{max} . Nilai awal untuk masing-masing parameter yang digunakan adalah $\tau_0 = 0.5$, $\alpha = 1$, $\beta = 0.99$, $m = 100$, dan $N_{max} = 500$ [3].

2 Menentukan node selanjutnya yang akan dituju.

Pemilihan *node* selanjutnya yang dilakukan oleh semut berdasarkan bilangan random (0,1) kemudian dibandingkan dengan nilai probabilitas dari *edge* yang menghubungkan *currentnode* dengan *node* yang akan dituju. Semut akan memilih *edge* dengan nilai

probabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan bilangan random. Semut akan berhenti melakukan perjalanan jika telah sampai pada *node* tujuan. Perhitungan probabilitas dapat dilihat pada Persamaan 1:

$$P_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} \quad (1)$$

3 Menghitung jarak tempuh.

Algoritma *Ant Colony* menggunakan *agents* semut buatan yang memiliki memori untuk menyimpan *node-node* yang pernah dilaluinya. Jarak akan dihitung jika semut telah menyelesaikan tur dari asal sampai ke tujuan. Jarak ini disebut dengan L_k , untuk menghitung L_k menggunakan Persamaan 2. Jika satu siklus telah diselesaikan oleh setiap semut, maka didapatkan $L_{\min N}$, merupakan rute minimum dari setiap siklus. Rute yang paling pendek dari setiap siklus merupakan solusi yang akan diberikan kepada *user*.

$$L_k = \sum_{s=1}^{n-1} d_{\text{tabu}_k(s), \text{tabu}_k(s+1)} \quad (2)$$

4 Memperbarui feromon.

Proses ini dilakukan setiap satu siklus selesai dilakukan oleh semua semut. Memperbarui feromon dibagi menjadi dua proses, evaporasi dan deposit. Evaporasi merupakan penguapan feromon yang disebabkan oleh jarak yang ditempuh untuk melalui satu rute terlalu jauh sehingga feromon yang ditinggalkan intensitasnya berkurang, perhitungan rumusnya terdapat pada Persamaan 3.

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \tau_{ij} \quad (3)$$

Sedangkan deposit adalah penambahan intensitas feromon pada suatu rute, rumusnya dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{1}{L_k}, & \text{edge } ij \text{ dalam } \text{tabu}_k \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (4)$$

Harga intensitas jejak kaki semut antar kota untuk siklus selanjutnya dihitung dengan Persamaan 5:

$$\tau_{ij} = \tau_{ij(\text{lama})} + \Delta\tau_{ij} \quad (5)$$

2.5 Penentuan Nilai Parameter

Penentuan nilai parameter dalam dilakukan dengan mengubah nilai parameter pada Algoritma *Ant Colony* yang digunakan, yaitu $\alpha, \beta, \tau_0, \rho, m$, dan N_{\max} .

2.6 Pengujian dan Analisis Sistem

Proses pengujian sistem terhadap rute distribusi optimum yang dihasilkan oleh sistem. *Input* dengan mengambil 5 buah sampel secara acak node awal dan node asal, pengujian ini akan dilakukan sebanyak 10 kali. Perhitungan akurasi untuk setiap sampel dengan cara:

$$\text{akurasi} = \frac{\sum \text{data bernilai benar}}{\sum \text{data yang diuji}} \times 100\%$$

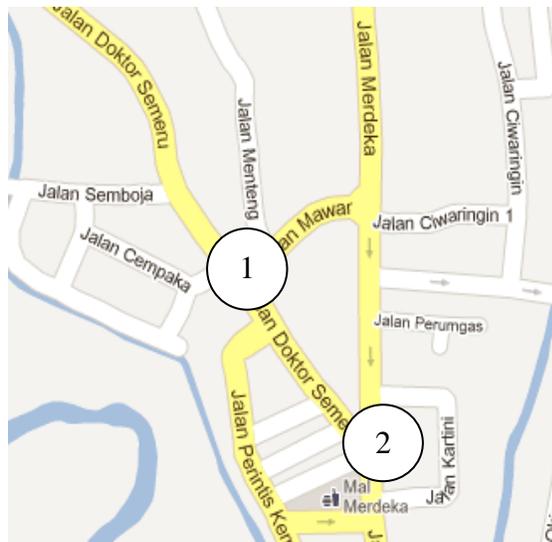
3 PEMBAHASAN

3.1 Pendefinisian Masalah

Penentuan rute optimum dalam *supply chain network* dapat didapat dari penggunaan Algoritma *Ant Colony*, yang terintegrasi dalam Sistem Informasi Rute Optimum Kota Bogor dan Kabupaten Bogor.

3.2 Pembentukan Data

Pembentukan *node* dan *edge* dapat dilihat pada Gambar 2. *Node* 1 merupakan titik pertemuan Jalan Mawar dan Jalan Doktor Semeru, sedangkan *Node* 2 merupakan titik pertemuan Jalan Doktor Semeru dan Jalan Merdeka. *Edge* yang menghubungkan *Node* 1 dan *Node* 2 adalah Jalan Doktor Semeru.



Gambar 2 Pembentukan *node* dan *edge*.

Contoh data lengkap yang digunakan untuk sistem ini adalah:

- *Node*
 - Id *node* = 1
 - Nama *node* = *Node 1*
 - Keterangan *node* = Jalan Padjajaran – Jalan Otto Iskandardinata
 - Latitude = -6.601411
 - Longitude = 106.805222
- *Edge*
 - Nama *edge* = E8
 - Keterangan *edge* = Jalan Pangrango
 - Node* awal = 3
 - Node* akhir = 34
 - Jarak (meter) = 79
 - Waktu (detik) = 5
 - Encodedline = ppfg@ehjSUv@Nv @
 - Level = BBBB

3.3 Pengembangan Sistem

Berdasarkan pada alur Algoritma *Ant Colony*, pengembangan sistem dibagi menjadi 3 fungsi, yaitu:

- Fungsi Mencari Probabilitas

Fungsi `cariProbability()` ini dibuat untuk mencari peluang setiap *node* yang dipilih oleh semut menggunakan Persamaan 1. Hasil dari perhitungan peluang di simpan sebagai informasi tambahan pada *edge* yang menghubungkan antar-*node*.

- Fungsi Mencari Rute

Fungsi `cariRute()` ini menyimpan *node* yang dihasilkan dari subfungsi `cariNextNode()` ke dalam tabulis. *Node-node* yang berada dalam tabulis inilah yang menjadi rute dari perjalanan semut, dan sekaligus menyimpan jarak tempuh dari rute yang dihasilkan. Selanjutnya fungsi `cariRute()` mengecek apakah rute yang dihasilkan sampai ke tujuan atau tidak. Subfungsi `cariNextNode()` bertujuan untuk mencari *node-node* selanjutnya yang dipilih oleh semut dalam menentukan rute terpendek.

- Fungsi Perubahan Feromon

Fungsi `UpdatePheromon()` ini dibuat untuk melakukan update feromon yang terdiri dari evaporasi dan deposit. Perhitungan dari fungsi ini mengimplementasikan

Persamaan 3 untuk evaporasi dan Persamaan 4, sedangkan Persamaan 5 untuk deposit feromon. *Update* feromon dilakukan jika setiap satu siklus selesai dilakukan.

Setelah semua fungsi terbentuk, dilakukan pemanggilan fungsi berdasarkan pada alur algoritma, sehingga menghasilkan sebuah rute dengan jarak tempuh yang optimum. Tampilan untuk halaman awal dari sistem ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Tampilan awal sistem.

3.4 Penentuan Nilai Parameter

Dalam menentukan parameter optimal α , nilai parameter Algoritma *Ant Colony* yang terdiri atas β, τ_0, ρ, m , dan N_{max} nilainya tetap, secara berurut yaitu 0.5, 0.5, 0.1, 5, dan 10. Rata-rata solusi jarak yang dihasilkan oleh setiap parameter α dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat dilihat nilai parameter $\alpha = 1$ memiliki rata-rata solusi jarak paling kecil. Dengan demikian, saat $\alpha = 1$ cenderung menghasilkan solusi yang mendekati optimum.

Tabel 1 Nilai parameter α dengan rata-rata solusi jarak

Nilai α	Rata-rata solusi jarak (meter)
0	4025.10
0.5	4003.80
1	3873.00
2	3988.40
5	4029.00

Nilai parameter β yang diuji adalah 0. 0.5, 1, 2, dan 5. Nilai parameter β dan rata-rata hasil uji masing-masing nilai β dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan semakin besar nilai β , menghasilkan solusi jarak yang jauh dari minimum. Nilai $\beta = 0$ memiliki rata-

rata yang kecil dibandingkan $\beta = 0.5$, sehingga untuk nilai optimal parameter β memilih nilai yang memiliki rata-rata jarak yang minimum, yaitu saat $\beta = 0$.

Tabel 2 Nilai parameter β dengan rata-rata solusi jarak

Nilai β	Rata-rata solusi jarak (meter)
0	3916.50
0.5	3939.00
1	4306.60
2	4579.50
5	5346.00

Nilai parameter τ_0 yang diuji adalah 0.000005, 0.5, dan 5. Nilai parameter dan rata-rata hasil uji dapat dilihat pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan ketiga nilai τ_0 yang diujikan, $\tau_0 = 0.5$ memiliki rata-rata solusi jarak yang paling kecil dibandingkan nilai τ_0 yang lainnya.

Tabel 3 Nilai parameter τ_0 dengan rata-rata solusi jarak

Nilai τ_0	Rata-rata solusi jarak (meter)
0.000005	3962.9
0.5	3946.5
5	3961.5

Nilai parameter ρ yang diuji adalah 0.1, 0.5, dan 0.9. Nilai parameter dan rata-rata hasil uji dapat dilihat pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan nilai $\rho = 0.9$ memiliki rata-rata paling rendah, sebesar 3947.2 meter, karena pada saat pengujian nilai $\rho = 0.9$ sering menghasilkan solusi jarak yang optimum dan mendekati optimum. Sehingga nilai untuk parameter ρ yang optimal adalah saat $\rho = 0.9$.

Tabel 4 Nilai parameter ρ dengan rata-rata solusi jarak

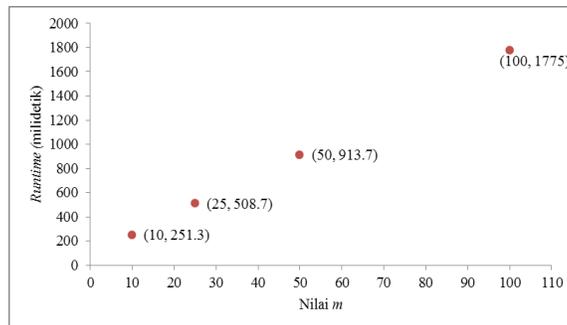
Nilai ρ	Rata-rata solusi jarak (meter)
0.1	4058.8
0.5	4037.1
0.9	3947.2

Selanjutnya pengujian terhadap parameter m dan N_{max} . Nilai parameter m yang diujikan adalah 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100.

Tabel 5 Nilai parameter m dengan rata-rata solusi jarak

Nilai m	Rata-rata solusi jarak (meter)
1	5872.9
2	4725.3
5	4307.1
10	4061.1
25	3992.2
50	3924.0
100	3909

Pada Tabel 5 menunjukkan semakin banyak jumlah semut, maka semakin sering mendapatkan nilai solusi yang optimum. Perlu melihat waktu eksekusi dari keempat nilai parameter m tersebut untuk menentukan nilai parameter mana yang paling optimal. Waktu eksekusi dari keempat nilai parameter m terdapat pada Gambar 4. Dari Gambar 4 didapatkan nilai parameter yang paling optimal untuk sistem ini adalah saat $m=10$.



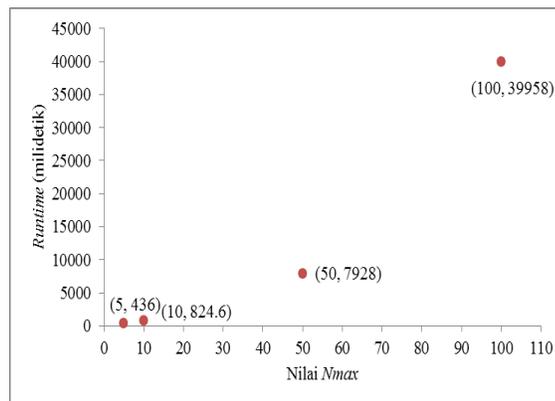
Gambar 4 Hubungan parameter $m = 10$, $m= 25$, $m= 50$, dan $m= 100$ dengan waktu eksekusi.

Parameter terakhir yang diuji adalah N_{max} . Nilai parameter yang diujikan adalah 5, 10, 100, 500. Tabel 6 menunjukkan nilai parameter N_{max} dan hasil rata-rata solusi jarak.

Tabel 6 Nilai parameter N_{max} dengan rata-rata solusi jarak

Nilai N_{max}	Rata-rata solusi jarak (meter)
5	3909
10	3909
50	3909
100	3909

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa semua nilai N_{max} menghasilkan solusi jarak yang seragam. Oleh sebab itu, penentuan parameter optimum N_{max} menggunakan waktu eksekusi program. Gambar 5 menunjukkan hubungan antara waktu eksekusi program dengan nilai parameter N_{max} . Semakin besar nilai parameter N_{max} maka membutuhkan waktu eksekusi yang lebih lama. Hasil pengujian parameter $\alpha, \beta, \tau_0, \rho$ didapat nilai optimum sebagai berikut: $\alpha = 1$, $\beta = 0$, $\tau_0 = 0.5$, dan $\rho = 0.9$. Sedangkan untuk parameter m didapat nilai 10 semut. Parameter N_{max} didapat nilai dengan jumlah siklus sebanyak 5 kali.



Gambar 5 Hubungan antara waktu eksekusi program dengan nilai parameter N_{max} .

Pengujian rute optimum dilakukan dengan mengambil asal dan tujuan sebanyak 5 sampel secara acak, kemudian setiap sampel dilakukan perulangan sebanyak 10 kali. Rata-rata akurasi pengujian rute optimum dapat dilihat pada Tabel 8. Namun, secara keseluruhan sistem ini dapat menentukan rute dengan jarak terpendek dengan akurasi 92%.

Tabel 8 Akurasi hasil pengujian rute optimum

Sampel	Akurasi
Sampel 1	100%
Sampel 2	100%
Sampel 3	100%
Sampel 4	60%
Sampel 5	100%

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

- Nilai parameter yang digunakan pada penelitian ini untuk mendapatkan jarak yang minimum adalah $\alpha = 1$, $\beta = 0$, $\tau_0 = 0.5$, dan $\rho = 0.9$, $m = 10$, dan $N_{max} = 5$.

- Pencarian rute optimum menggunakan Algoritma *Ant Colony* pada sistem ini memiliki akurasi sebesar 92%.

5 PUSTAKA

- [1] Marwantoni D. 2009. Penentuan Rute Optimum Jalur Distribusi dalam *Supply Chain Network* Menggunakan Algoritme Genetika[skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [2] Priasa A. 2008. Perancangan supply chain network untuk penentuan lokasi produksi dan jalur distribusi [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [3] Khan Md M R. 2004. Ant System to Find the Shortest Path. Di dalam : 3rd International Conference on Electrical & Computer Engineering ICECE; Dhaka, 28-30 Desember 2004. Bangladesh.
- [4] Ayers B. 2001. *Handbook of Supply Chain Management*. USA: St. Lucie Press.
- [5] Chartrand G, Oellermann OR. 1993. *Applied and Algorithmic Graph Theory*. New Jersey: McGraw-Hill.
- [6] Dorigo M, Stutzle T. 2004. *Ant Colony Optimization*. Massachusetts Institute of Technology: USA.

ANALISIS DAN PERANCANGAN *INTELLIGENT TUTORING SYSTEM (ITS)* MENGGUNAKAN *CASE BASED REASONING* SEBAGAI UPAYA INOVATIF UNTUK PEMBELAJARAN PEMROGRAMAN KOMPUTER

Jaidan Jauhari ^{1*}, Abdiansah ²

Laboratorium Riset Aplikasi Sistem Informasi Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya, Palembang^{1*}

jaidan_j@yahoo.com, Kampus Fasilkom Unsri Gedung C Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km32 Indralaya Ogan Ilir 30662

Laboratorium Riset Kecerdasan Buatan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya, Palembang²

ABSTRAK

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat saat ini juga telah merambah berbagai bidang, tidak terkecuali bidang pendidikan dan pengajaran. Penggunaan komputer dalam pembelajaran saat ini yang banyak digunakan adalah penggunaan multimedia interaktif dan *e-learning*. Tetapi kelemahan dari keduanya adalah menganggap bahwa semua pelajar memiliki kemampuan yang seragam, padahal kenyataannya tidak demikian. Salah satu alternatif untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan Intelligent Tutoring System (ITS) yang dikembangkan untuk mengatasi kelemahan yang belum memperhatikan keberagaman siswa tersebut. Pembelajaran pemrograman komputer merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam pembelajaran disiplin ilmu komputer. Masalah yang sering dihadapi oleh pelajar dalam belajar pemrograman adalah kesulitan dalam menentukan dan memperbaiki program yang masih salah. Untuk dapat menjadi ahli di bidang ini dibutuhkan waktu yang lama dan latihan yang *intens*, karena teori dan praktik dalam bidang pemrograman komputer. Untuk mengatasinya dapat dibangun ITS yang merupakan sebuah aplikasi komputer yang dibuat untuk meniru mimik manusia dalam memberikan materi pengajaran. ITS menggunakan pendekatan *one-to-one*. ITS merupakan sistem yang cerdas karena memiliki komponen kecerdasan buatan. Salah satu teknik yang dapat dipakai adalah CBR (*Case Based Reasoning*) yang memberikan teknik penyelesaian masalah menggunakan kasus. Dalam makalah ini dibahas analisis dan perancangan ITS berbasis CBR.

Kata Kunci : Intelligent Tutoring Systems, Case Based Reasoning, Sistem Cerdas

1 PENDAHULUAN

Pemrograman komputer merupakan salah satu bidang ilmu yang mempelajari bagaimana cara membuat program computer yang benar dan efisien [1]. Bidang ini dijadikan sebagai mata kuliah dasar untuk semua jurusan dalam bidang komputer seperti jurusan teknik informatik, sistem komputer maupun sistem informasi. Masalah yang sering muncul ketika pertama kali mempelajari pemrograman komputer adalah sulitnya beradaptasi dengan

lingkungan yang baru yaitu lingkungan pemrograman dan membutuhkan waktu yang lama untuk bisa mempelajarinya[2]. Di pasaran banyak sekali alat pemrograman komputer (bahasa pemrograman komputer) seperti basic, pascal, C, C++, C#, .net dan Java. Walaupun struktur dan bahasa yang digunakan berbeda-beda tetapi konsep dasar pemrograman tetap sama. Oleh karena itu pembelajaran pemrograman komputer ditekankan pada konsep sebagai inti dan struktur sebagai tambahan. Belajar pemrograman tidak hanya membutuhkan matematika dan logika tetapi juga membutuhkan seni yaitu seni pemrograman (*art programming*). Belajar pemrograman membutuhkan pemahaman dan latihan yang intens dan serius guna menghasilkan hasil yang baik dan produktif.

Pembelajaran berbantuan komputer telah banyak digunakan seperti E-learning, multimedia interaktif dan sebagainya tetapi kekurangan dari sistem-sistem tersebut adalah bahwa pembelajaran tersebut tidak memperhatikan keragaman dari kemampuan peserta ajar (penggunanya) secara individual [3] [4] [5]. Padahal masing-masing individu memiliki perbedaan dalam kemampuan, daya serap dan motivasi dalam belajar yang merupakan suatu kenyataan yang tidak bisa dipungkiri [6] [7]. Sistem pembelajaran cerdas (*Intelligent Tutoring System*) menyempurnakan kelemahan tersebut dengan memperhatikan kemampuan siswa, dan mengajarkan materi sesuai dengan kemampuannya[8] [9] [10].

Intelligent Tutoring System (ITS) merupakan sebuah aplikasi komputer yang dapat meniru mimik manusia ketika memberikan pengajaran. Salah satu kelebihan ITS dibanding pengajaran konvensional yaitu karena ITS menggunakan pendekatan *one-to-one* antara ITS dengan pelajar. Pembelajaran dikelas akan tidak efektif ketika pemahaman antara pelajar tidak sama. ITS dapat mengatasi masalah tersebut karena ITS dapat memberikan materi sesuai dengan kemampuan pelajar. ITS dapat menghilangkan kejenuhan pelajar karena pengajaran ITS lebih bersifat individual dan langsung fokus ke titik permasalahan. Pelajar diberikan kekuasaan penuh dalam belajar dan ITS memberikan layanan penuh dalam memberikan pengajaran. Oleh karena itu ITS dapat digunakan untuk memberikan pengajar di bidang pemrograman komputer karena selain memberikan teori, ITS juga dapat langsung memberikan contoh-contoh praktek yang dapat langsung dicoba oleh pelajar. ITS merupakan aplikasi komputer yang cerdas karena mempunyai komponen kecerdasan buatan.

Case Based Reasoning (CBR) merupakan salah satu bidang dalam kecerdasan buatan yang dapat digunakan dalam ITS. CBR memiliki kelebihan karena penyelesaian masalahnya

menggunakan kasus. Kasus-kasus yang berisi masalah dan solusi dikumpulkan sebanyak mungkin dan akan digunakan untuk menyelesaikan kasus baru yang tidak diketahui solusinya berdasarkan kesamaan karakteristik kasus. Penelitian ITS menggunakan CBR masih terus dieksplorasi dan masih terus berkembang guna mendapatkan hasil yang optimal. Oleh karena itu usulan penelitian ini mencoba untuk ikut andil dalam penelitian ITS menggunakan CBR.

Ada banyak sekali definisi tentang *Intelligent Tutoring System* (ITS) atau Sistem Pembelajaran Cerdas (SPC), salah satunya adalah ITS merupakan sebuah aplikasi komputer yang mempunyai kecerdasan dalam melakukan pembelajaran. ITS mencoba meniru mimik manusia dalam mengajar dan memberikan tanya jawab ke pengguna [11]. ITS dapat menilai kemampuan pengguna dan memberikan materi yang sesuai dengan pengetahuan yang dimiliki pengguna. ITS mirip pengajar (tutor) virtual yang berusaha mengadopsi pengajar yang asli.

Case Based Reasoning (CBR) dikembangkan dari sistem pembelajaran berbasis kesamaan (*similarity-based learning*). Secara sederhana CBR merupakan sebuah sistem yang menggunakan pengalaman lama untuk dapat mengerti dan menyelesaikan masalah baru [12]. Ada beberapa kelebihan dari CBR diantaranya, CBR lebih efisien karena menggunakan pengetahuan lama dan mampu mengadaptasi pengetahuan baru, tidak seperti sistem pakar yang selalu membangkitkan rules atau aturan-aturan setiap akan menyelesaikan suatu masalah. CBR mempunyai empat tahap penyelesaian masalah yaitu: retrieve (mengambil kasus yang ada dalam basis data kasus), reuse (menggunakan solusi kasus terpilih), revise (memperbaiki kasus yang tidak relevan) dan retain (menyimpan kasus hasil revisi). Dengan kemampuan tersebut CBR lebih fleksibel dan sederhana dalam penyelesaian masalah karena.

Siklus CBR proses pertama dalam siklus CBR adalah retrieve, yaitu mengambil satu atau lebih kasus yang sama dengan kasus baru yang biasanya digunakan fungsi similarity untuk menghitung tingkat kemiripannya. Setelah itu dilanjutkan dengan proses reuse yaitu menggunakan solusi dari kasus yang sama tadi untuk digunakan mengatasi masalah untuk kasus baru. Jika tidak ada kasus lama yang cocok, maka dilakukan proses revise yaitu proses untuk membuat solusi baru dari kasus baru dan kemudian dilanjutkan proses retain yaitu menyimpan solusi dari kasus baru setelah revisi. Siklus CBR di atas jarang terjadi tanpa intervensi manusia, karena untuk proses *revise* dan *retain* biasanya ditujukan untuk *knowledge engineering* bersama dengan seorang pakar.

2 METODE PENELITIAN

Pengembangan perangkat lunak yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode pengembangan perangkat lunak dengan metode incremental [14]. Metode ini merupakan pengembangan dari metode waterfall yang sering digunakan dalam pengembangan perangkat lunak. Keunggulan metode incremental dibandingkan dengan metode waterfall terletak pada kecepatan pengerjaan tahapan proses. Metode incremental dapat melakukan pengerjaan tahapan proses secara paralel, tahap yang satu tidak harus menunggu tahap yang lainnya. Ada lima tahap dalam metode incremental yaitu analisa (*analysis*), perancangan (*design*), penkodean (*coding*), pengujian (*testing*) dan pemeliharaan (*maintenance*). Perangkat lunak ini nantinya akan dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman Java menggunakan IDE (*Integrated Development Environment*) NetBeans 6.5 dan DBMS (*Database Management System*) MySQL di atas Sistem Operasi Windows 7 (seven). Pemilihan Java, NetBeans dan MySQL dilakukan karena bersifat freeware kecuali untuk sistem operasi Windows 7 (seven).

Berikut ini penjelasan tahapan pengembangan perangkat lunak menggunakan metode incremental:

- a. Analisa
 - Pengumpulan data: data yang dikumpulkan adalah data primer dan sekunder. Data primer berasal dari data yang diambil langsung dari para pakar/ahli pemrograman komputer dan data sekunder berasal dari data buku dan internet. Tahap ini sering disebut juga dengan tahapan akuisisi data.
 - Analisa data: data yang telah terkumpul dianalisa dan dijadikan dalam bentuk kasus-kasus. Pada tahap ini dilibatkan juga seorang pakar untuk membantu merumuskan kasus yang akan dibuat.
 - Analisa basis data: kasus yang telah terkumpul kemudian dibentuk sesuai dengan format basis data supaya bisa dimasukkan ke dalam basis data seperti pembuatan tabel kasus, pembuatan kunci, relasi antar tabel dan pembentukan query.
 - Analisa model aplikasi: model aplikasi yang akan digunakan berbasis desktop dan nantinya dapat didistribusikan secara manual.

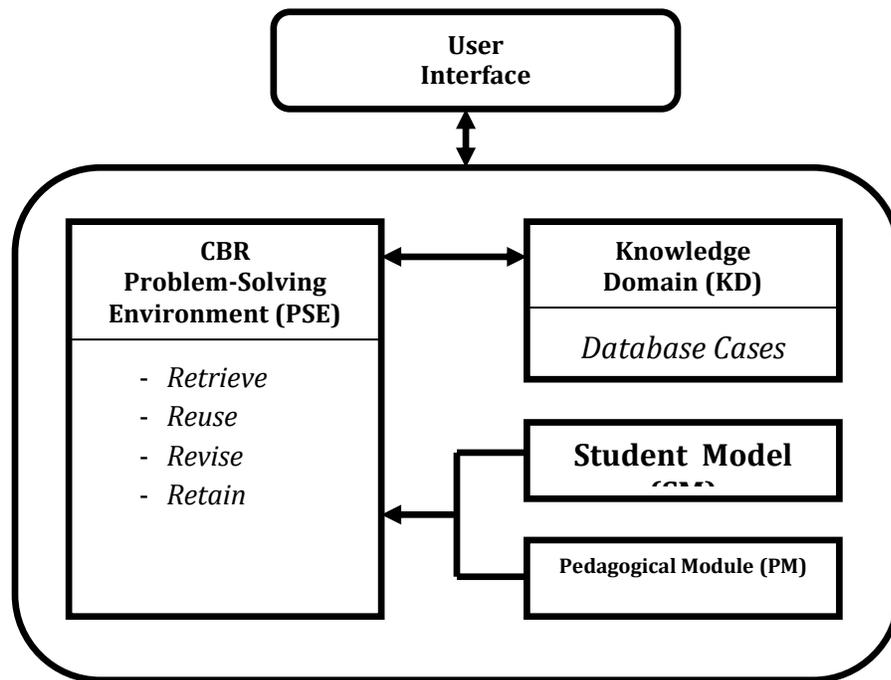
- Analisa perangkat lunak: perangkat lunak yang digunakan adalah bahasa pemrograman java, IDE NetBeans, DBMS MySQL serta Sistem Operasi Windows 7 (seven).
 - Analisa perangkat keras: Analisa kebutuhan perangkat keras terhadap sistem seperti kecepatan processor, kapasitas memori utama dan memori sekunder.
- b. Perancangan
- Rancangan basis data: Rancangan basis data merupakan lanjutan dari analisa basis data. Perancangan basis data dilakukan dengan menggunakan DBMS MySQL serta melakukan pembuatan query-query yang nanti akan digunakan oleh sistem.
 - Rancangan antarmuka: Merancang tampilan masukan dan keluaran yang berbasis GUI (Graphical User Interface) menggunakan IDE NetBeans 6.5.
 - Rancangan prosedural: Merancang modul-modul program yang nantinya akan digunakan pada saat pengkodean sistem. Rancangan modul dapat berbentuk algoritma, flowchart dan pseudo-code.
- c. Pengkodean
- Pembuatan kode modul basis data: kode modul basis data dibuat terpisah dengan kode sistem sehingga lebih bersifat reusable. Kode modul basis data berisi operasi basis data seperti membuat koneksi ke basis data, insert, update, delete dan query.
 - Pembuatan kode modul sistem: kode modul sistem dibagi menjadi dua bagian yaitu modul program utama dan modul prosedural. Modul program utama akan dijalankan pertama kali dan selama operasinya akan memanggil modul-modul prosedural. Modul prosedural meliputi kode-kode program yang berhubungan dengan sistem seperti kode-kode tahapan CBR (retrieve, reuse, revise dan retain) dan lainnya.
- d. Pengujian
- Pengujian basis data: pengujian koneksi basis data dan akurasi query basis data.
 - Pengujian sistem: pengujian secara keseluruhan dari sistem baik dari masukan, proses dan keluaran sistem.
- e. Pemeliharaan, Dilakukan dengan dua cara yaitu ketika proses pengembangan berlangsung melakukan backup kode-kode program yang dibuat jika melakukan

revisi program dan setelah proses pengembangan dengan melihat kinerja sistem apakah masih menghasilkan akurasi yang baik selama sistem berjalan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

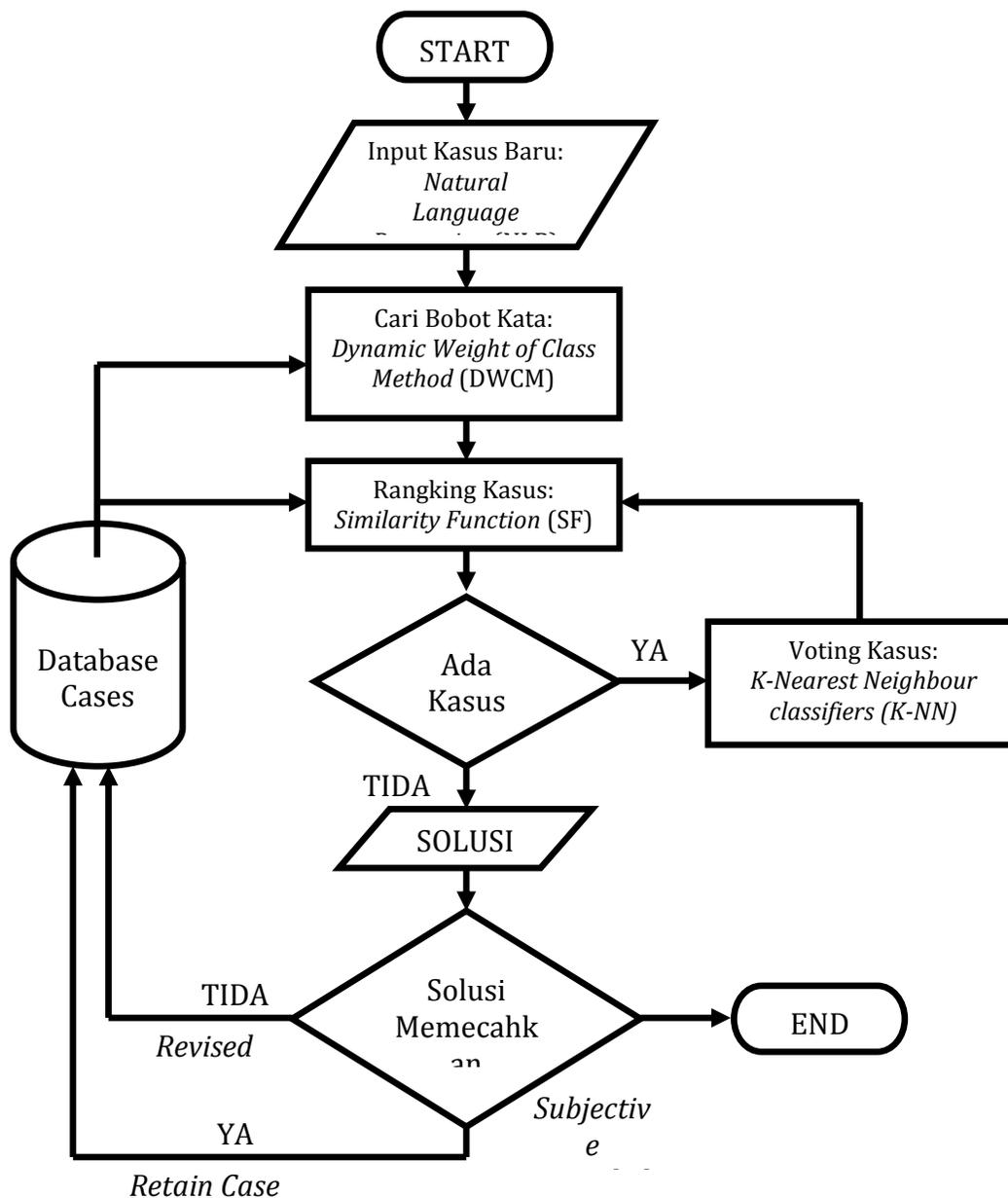
3.1 Arsitektur dan Diagram Alir Sistem

Arsitektur dan diagram alir sistem yang diusulkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2 secara berurutan. Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa arsitektur sistem yang diusulkan mengikuti pola dari arsitektur umum ITS. Arsitektur tersebut terdiri dari lima komponen: *user interface*, *CBR-PSE*, *knowledge domain (KD)*, *student model (SM)* dan *pedagogical module (PM)*. *User interface*, merupakan antarmuka antara pengguna dengan sistem ITS. Pengguna dapat memasukkan kasus yang dialaminya dalam bahasa alami, penggunaan bahasa alami dapat menghilangkan kebebasan pengguna dalam menyampaikan kasus yang dihadapinya. *CBR-PSE*, merupakan mesin yang akan melakukan proses pemecahan masalah. CBR menggunakan empat tahapan umum untuk memecahkan masalah yaitu: *retrieve*, *reuse*, *revise* dan *retain*. *Student Model*, memberikan informasi status selama proses pembelajaran berlangsung. *Pedagogical Module*, memberikan teknik pengajaran, dalam penelitian ini teknik yang digunakan berdasarkan kesamaan antara kasus pengguna dengan kasus-kasus yang ada dalam basis data kasus.



Gambar 1. menunjukkan tahapan-tahapan pemrosesan pemecahan masalah yang akan diusulkan.

Langkah pertama dimulai dari menerima masukan pertanyaan (kasus) dari pengguna dalam bentuk bahasa alami. Setelah itu masukan tadi akan diproses untuk dicari bobot masing-masing kata. Disini digunakan metode pembobotan kelas secara dinamis (*dynamic weight of class method - DWCM*) untuk kata-kata yang spesifik dan umum yang dibuat oleh peneliti sendiri. Asumsi bahwa kata-kata yang spesifik akan mempunyai bobot yang lebih besar dibandingkan dengan kata-kata yang umum. Pemberian bobot ini nantinya akan mempengaruhi proses *similarity*/kesamaan kasus.



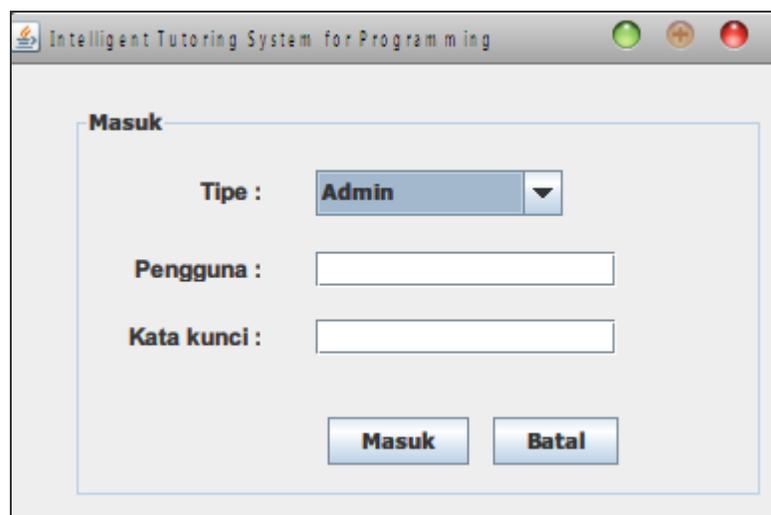
Gambar 2. Diagram alir sistem yang diusulkan

Berikutnya akan dilanjutkan proses mencari kesamaan kasus dengan kasus-kasus yang ada dalam basis data kasus menggunakan *similarity function* (SF). Hasil dari SF adalah

ranking kasus, kasus yang memiliki ranking teratas akan diambil dan solusi dari kasus tersebut akan dijadikan solusi untuk pengguna. Jika ranking teratas lebih dari satu maka akan dilakukan voting kasus dengan menggunakan metode *k-nn classifier*. Setelah menerima solusi, pengguna akan ditanya apakah sudah puas dengan solusi yang diberikan, jika jawaban *ya* maka kasus pengguna dan solusi akan dijadikan pengetahuan baru bagi sistem tapi jika *tidak* maka akan dilakukan revisi terhadap kasus pengguna dengan melibatkan pakar. Tahap pertanyaan terhadap pengguna ini disebut *subjective knowledge (SK)* oleh peneliti karena pengetahuan baru yang disimpan oleh sistem dihasilkan oleh subjektivitas pengguna bukan dari seorang pakar. SK dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam menyerap pengetahuan karena pengetahuan tidak hanya diberikan oleh pakar tapi oleh pengguna juga.

3.2. Antarmuka

Pada gambar 3 – 6 dapat dilihat hasil perancangan beberapa antarmuka sistem.



Gambar 3. Antarmuka Pengguna

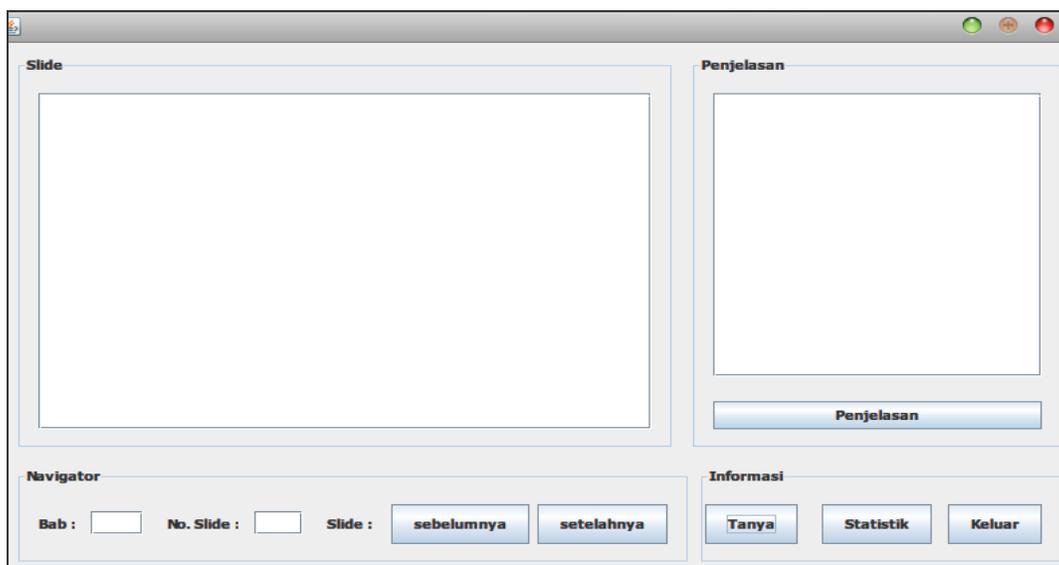
Pada gambar 3 merupakan antarmuka untuk memulai menggunakan ITS. Ada dua jenis tipe pengguna yaitu Admin dan pelajar. Jika masuk sebagai admin maka akan tampil antarmuka untuk pengolahan data-data sistem. Ada enam jenis data yang diolah oleh admin yaitu: 1) data pelajar: untuk menyimpan data-data pelajar, 2) data latihan: untuk menyimpan soal-soal latihan, 3) data presentasi: untuk menyimpan data-data untuk presentasi materi, 4) data penjelasan: untuk menyimpan data-data yang berhubungan dengan penjelasan materi, 5)

data materi: berisi data-data mentah materi dan 6) data tanya-jawab: berisi data-data untuk tanya-jawab antara pengguna dengan sistem. Data tanya-jawab inilah yang akan diolah oleh CBR. Masing-masing data tersebut disediakan antarmuka untuk memanipulasi data (*insert-update-delete*).

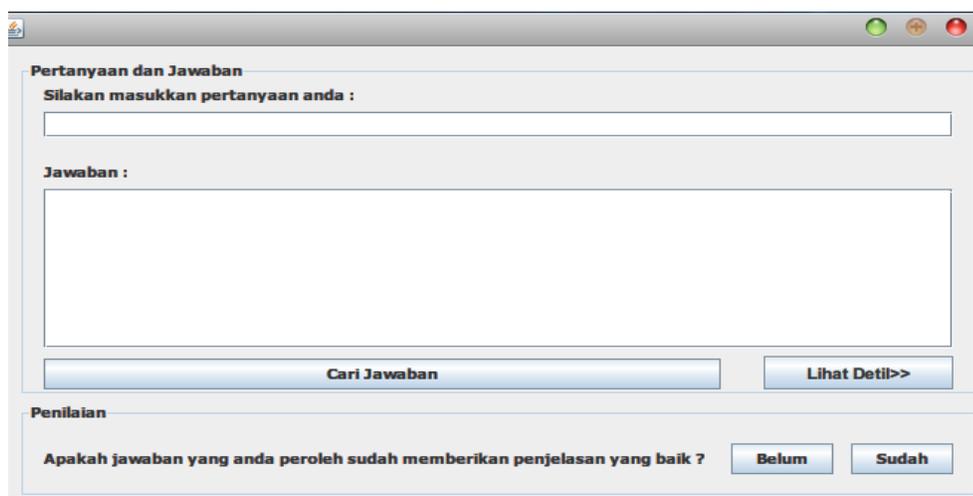


Gambar 4. Antarmuka Admin

Jika pengguna masuk sebagai pelajar maka dia akan langsung mendapatkan antarmuka pembelajaran seperti tampak pada gambar 4. Antarmuka tersebut dibagi menjadi empat bagian yaitu: 1) slide: bagian ini berfungsi untuk menampilkan materi pembelajaran. Teknik pedagogik yang digunakan adalah teknik presentasi dan tidak bersifat searah, dimana sistem akan memberikan materi pelajaran secara sekuensial dan pelajar dapat langsung memberikan feedback tanpa harus menyelesaikan keseluruhan materi yang ada pada slide. 2) penjelasan: bagian ini merupakan bagian penjelasan dari materi yang ada pada bagian slide. Setiap item materi yang ada dalam slide akan dijelaskan pada bagian ini dan jika pelajar masih kurang puas dengan penjelasannya maka pada bagian ini terdapat tombol penjelasan yang akan menghubungkan pelajar ke sumber materi. 3) navigator: bagian ini merupakan alat kontrol untuk mengatur slide. Sistem belum bisa memberikan perpindahan slide secara otomatis oleh karena itu sistem menyediakan alat kontrol ini guna kenyamanan pelajar dalam mengontrol materi yang akan dipelajarinya. Dan 4) informasi: pada bagian ini terdapat tiga buah tombol yaitu tombol keluar yang berfungsi untuk keluar dari antarmuka pembelajaran, tombol statistik yang akan memberikan informasi tentang kemajuan pelajar selama menggunakan sistem dan tombol tanya-jawab yang akan memberikan antarmuka tanya-jawab seperti tampak pada gambar 7. Antarmuka tanya jawab ini akan menjawab persoalan yang dihadapi oleh pelajaran yang disesuaikan dan berhubungan dengan materi yang dipelajarinya. Pertanyaan yang diberikan dapat bersifat bebas karena sistem menggunakan NLP (*Natural Language Processing*) untuk pengolahan pertanyaan.



Gambar 5. Antarmuka Pembelajaran



Gambar 6. Antarmuka Tanya-Jawab

Pada antarmuka tanya-jawab terdapat bagian Penilaian yang berisi pertanyaan sistem kepada pengguna apakah pengguna sudah puas atau belum dengan jawaban yang diberikan oleh sistem, tombol belum dan tombol sudah. Bagian ini merupakan bagian yang disebut dengan *subjective knowledge* yang berfungsi untuk meningkatkan daya kepercayaan sistem terhadap suatu kasus berdasarkan statistik pengguna. Jika banyak pengguna menyatakan puas dengan suatu kasus, maka kasus tersebut akan memiliki bobot yang tinggi dalam penyelesaian suatu masalah.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ITS masih sangat luas dan bisa diekplorasi lebih lanjut dengan mengkaji komponen-komponen ITS seperti komponen PSE (*Problem Solving Environment*), SM (*Student Model*) serta PM (*Pedagogic Model*). Penerapan CBR sebagai PSE dalam ITS merupakan salah satu bentuk model penyelesaian masalah berdasarkan kemiripan kasus yang baru dengan kasus yang lama. Perancangan antarmuka untuk *problem-solving* antara pengguna dengan sistem ITS menggunakan bahasa alami sehingga lebih memudahkan pengguna dalam berinteraksi dengan sistem. Berdasarkan hasil perancangan dan pembahasan didapatkan bahwa CBR dapat diterapkan sebagai komponen untuk melakukan *problem-solving* dilingkungan ITS. Dalam makalah ini baru merupakan langkah awal untuk membuat ITS berbasis CBR, yaitu baru sampai analisis dan perancangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dirjen Dikti yang telah mendanai kegiatan penelitian ini melalui skim penelitian Hibah Bersaing tahun 2011-2012

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Munir, Rinaldi. 2008. *Algoritma dan Pemrograman*. Bandung : Penerbit Informatika
- [2] Nunez A, Fernandez J, Garcia J D, Prada L, Carretero J. 2008. *M-PLAT: Multi Programming Language Adaptive Tutor*. IEEE Xplore, Eighth IEEE
- [3] Sykes E R. 2003. *An Intelligent Tutoring System Prototype for Learning to Program Java TM*. IEEE Xplore. Proceedings of the The 3rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT '03)
- [4] Wasmana, P. 2005. *Pengembangan Modul Pakar pada Sistem Pembelajaran Cerdas* [tesis tidak diterbitkan]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- [5] Keles, A, Ocak R, Keleş, Gülcü A. 2009. [ZOSMAT : Web-based intelligent tutoring system for teaching-learning process](#). *Expert Systems with Applications, Volume 36, Issue 2, Part 1, Pages 1229-1239*
- [6a] Jauhari, Jaidan. 2008. *Implementasi E-Learning dalam Pengembangan Lingkungan Belajar Yang Interaktif di Perguruan Tinggi (Studi Kasus di FKIP Unsri)*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Dikti.
- [6b] Jauhari, Jaidan. 2011. *Pengembangan Intelligent Tutoring System (ITS) Berbasis Case Based Reasoning (CBR) Sebagai Inovasi dalam Pembelajaran Pemrograman Komputer*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Tahun 2011

- [7] Stankov S, Rosić M, Žitko B, Grubišić A. 2008. [TEx-Sys model for building intelligent tutoring systems](#). *Computers & Education, Volume 51, Issue 3, Pages 1017-1036*
- [8] Lau A, Tsui E, Lee W.B. 2009. An ontology-based similarity measurement for problem-based case reasoning *Expert Systems with Applications, Volume 36, Issue 3, Part 2, Pages 6574-6579*
- [9] Mille, A. 2006. From case-based reasoning to traces-based reasoning *Annual Reviews in Control, Volume 30, Issue 2, Pages 223-232*
- [10] VHe Y, Hui S.C, Quan T.T. 2009. Automatic summary assessment for intelligent tutoring systems. *Computers & Education, Volume 53, Issue 3, Pages 890-899*
- [11] Samuelis L. 2007. *Notes on The Components for Intelligent Tutoring Systems*. www.bmf.hu/journal/Samuelis_10.pdf
- [12] Swoboda, W., Zwiebel, F.M., Spitz, R., and Gierl, L. 1994. *A case-based consultation system for postoperative management of liver-transplanted patients. Proceedings of the 12th MIE Lisbon*, IOS Press, Amsterdam, pp. 191-195.
- [13] Iglesias A, Martínez P, Aler R, and Fernández F. 2009. Reinforcement learning of pedagogical policies in adaptive and intelligent educational systems. *Knowledge-Based Systems, Volume 22, Issue 4, Pages 266-270*
- [14] Pressman, R. 1997. *Software Engineering : A Practitional Approach*. NY: McGraw Hil
- [15] Rishi O P, Govil R, Sinha M. 2007. *Distributed Case Based Reasoning for Intelligent Tutoring System: An Agent Based Student Modeling Paradigm*. IEEE Xplore, World Academy of Science, Engineering and Technology

Fisika

ANALISIS HASIL PELAPISAN CoNi PADA SUBTRAT BAJA ST 37 DENGAN KOMBINASI METODE DEPOSISI ELEKTROPLATING MENGGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE* (SEM)

Novizal¹, Eva Ridiwati², Kemas A. Zaini Thosin³

Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta¹

Email: novizal23@yahoo.co.id

Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta²

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia,

ABSTRAK

Telah dilakukan analisa struktur mikro dan komposisi kimia pada lapisan dan tampang lintang CoNi diatas substrat Baja ST 37 menggunakan SEM IMG1. Pelapisan CoNi pada substrat baja ST 37 menggunakan metode *elektroplating* dilakukan dengan dua tahap, yaitu elektroplating Ni-strike selama 30 detik dan Ni-watt selama 120 menit. *Elektroplating* Ni-strike berfungsi sebagai pelapisan nikel dasar agar Ni dan Co dapat merekat kuat pada substrat saat dilakukan pelapisan menggunakan Ni-watt. Untuk mengetahui pengaruh lapisan terhadap kekerasan bahan lapisan CoNi pada substrat baja ST 37 diberikan *heat treatment*/perlakuan panas. Pengujian struktur mikro dan komposisi kimia pada lapisan CoNi sesudah di *heat treatment* dengan perbesaran x 5000..

Katakunci: SEM, *Elektroplating* dan *Heat treatment*

1 PENDAHULUAN

Perkembangan mikroskop elektron saat ini banyak diaplikasikan dalam dunia industri dan teknologi untuk melihat benda berukuran di bawah 200 nanometer, diperlukan mikroskop dengan panjang gelombang pendek^[1]

Salah satu jenis dari mikroskop elektron ini ialah SEM (*Scanning Electron Microscope*) atau scanning elektron microscope. Mikroskop elektron scanning (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang gambar permukaan sample dengan cara memindai sample dengan energi tinggi sinar elektron dalam raster untuk scan pola. Elektron berinteraksi dengan atom-atom yang membentuk sampel menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang sampel. sinyal yang dihasilkan oleh SEM berupa elektron sekunder, back-tersebar elektron (BSE), karakteristik sinar-X, cahaya (*cathodoluminescence*)^[2,3].

SEM dapat menghasilkan gambar beresolusi tinggi yang dapat terlihat jelas dari permukaan sampel^[4]. Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron

sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor [CRT](#) (*cathode ray tube*). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang [3 dimensi](#). Selain itu SEM dapat secara jelas dan terperinci menganalisa bentuk dan ukuran dari benda serta menganalisa komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif.^[4]

Dengan menggunakan SEM dilakukan analisa hasil pelapisan pada Baja ST 37 dengan larutan elektrolit CoNi dengan menggunakan menggunakan metode *elektroplating* dan perlakuan panas/*heat treatment*., dimana komposisi NiSO₄ terdiri dari 75 % CoSO₄^[5,6]. Analisa SEM diaplikasikan pada Baja ST 37 bertujuan untuk menganalisa struktur mikro dan komposisi kimia pada lapisan dan tampang lintang CoNi diatas substrat Baja ST 37.

2 METODOLOGI

Untuk menganalisa struktur mikro menggunakan uji *Scanning Electron Microscope*, diawali dengan mempersiapkan substrat Baja ST 37 yang telah dilapisi CoNi dengan konsentrasi larutan elektrolit 75%. sampel melalui beberapa tahap yaitu pelapisan sample dengan metode *elektroplating*, perlakuan panas/*Heat Treatment* dan persiapan sebelum SEM^[7,8]. Uji struktur mikro dan komposisi kimia lapisan CoNi pada permukaan substrat Baja ST 37 dan komposisi kimia pada tampang lintang lapisan CoNi diatas subtrat Baja ST 37 ini dilakukan dengan SEM dan EDS.

Pengujian SEM dapat menghasilkan informasi tentang topografi, morfologi, komposisi, dan kekristalan sampel. Topografi sampel memberikan informasi tekstur permukaan sampel Baja ST 37. Morfologi menunjukkan bentuk dan ukuran partikel-partikel yang membentuk sampel. Komposisi sampel menghasilkan informasi tentang elemen dan kandungan unsur pada sampel.

Tabel 1. Hasil *Electroplating* Baja ST 37

No	Sample	Sebelum Elektroplating					Electroplating			Sesudah Elektroplating		
		<i>p</i> (cm)	<i>l</i> (cm)	<i>t</i> (cm)	<i>A</i> (cm ²)	<i>m_o</i> (gram)	<i>i_{strike}</i> (A)	<i>i_{watt}</i> (A)	<i>m₁</i> (gram)	<i>m_{Ni}</i> (gram)	<i>t_{Ni}</i> (μm)	
1	020212-1	2.130	1.400	0.080	6.52880	1.79218	3.26	0.13	1.99108	0.19890	34.222665	
2	020212-2	2.130	1.480	0.080	6.88240	1.97235	3.44	0.14	2.20458	0.23223	37.904504	
3	070212-1	2.110	1.310	0.080	6.07540	1.70742	3.02	0.12	1.92129	0.21387	39.544620	
4	070212-2	2.120	1.380	0.080	6.41120	1.70735	3.21	0.13	2.00005	0.29270	51.285643	
5	140212-1	1.490	1.310	0.110	4.51980	1.43887	2.26	0.09	2.08436	0.64549	160.428939	
6	140212-2	1.490	1.160	0.100	3.98680	1.37433	1.99	0.08	1.446	0.07167	20.194140	
7	150212-1	1.490	1.180	0.010	3.56980	1.41971	1.78	0.07	2.31081	0.89110	280.410950	
8	150212-2	1.540	1.110	0.010	3.47180	1.48247	1.74	0.07	2.31081	0.82834	268.019471	
9	230212-1	1.430	1.190	0.001	3.40864	1.43797	1.70	0.07	1.53869	0.10072	33.193037	
10	240212-1	1.490	1.180	0.100	4.05040	1.42488	2.03	0.08	1.56389	0.13901	38.553210	
11	290212-1	1.490	1.190	0.100	4.08220	1.43302	2.04	0.08	1.55541	0.12239	33.679378	
12	290212-2	1.410	1.180	0.100	3.84560	1.41098	1.92	0.08	1.53067	0.11969	34.962797	
13	010312-1	1.490	1.190	0.100	4.08220	1.42038	2.04	0.08	1.55857	0.13819	38.027235	
14	010312-2	1.570	1.190	0.100	4.28860	1.49146	2.14	0.09	1.66368	0.17222	45.110792	
15	020312-1	1.490	1.120	0.100	3.85960	1.45808	1.93	0.08	1.47761	0.01953	5.684239	
16	020312-2	1.450	1.190	0.100	3.97900	1.38632	1.99	0.08	1.53124	0.14492	40.913515	
17	060312-1	1.460	1.190	0.100	4.00480	1.39044	2.00	0.08	1.53124	0.14080	39.494283	
18	060312-2	1.490	1.190	0.100	4.08220	1.43425	2.04	0.08	1.53124	0.09699	26.689786	

Tabel 2. Hasil analisa *heat treatment* pada Baja ST 37

No Sampel	<i>p</i> (cm)	<i>l</i> (cm)	<i>t</i> (cm)	<i>A</i> (cm ²)	<i>m_{NiCo}</i> (m ₁ gram)	<i>m_{NiCo}</i> HT (m ₂ gram)	<i>mcHT</i> (gram)	Keterangan
29-02-12 (2)	1.41	1.18	0.1	3.8456	1.53067	1.53321	0.000660495	Sample dilanjutkan uji SEM

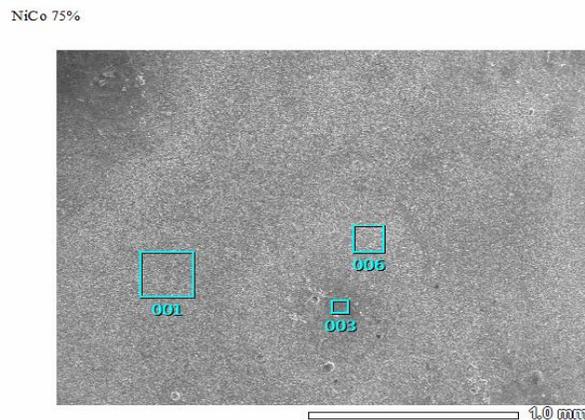
Tabel 3. Temperatur kontrol Heat Treatment Ni-Co 75%

No.	Waktu	T1 Program (1000°C)	SV	Keterangan
1	10.17	280	285°C	
2	11.17	521	523°C	
3	12.17	759	766°C	
4	13.17	910	1000°C	saat kondisi di tahan
5	14.17	993	1000°C	
6	15.17	995	1000°C	

3 PEMBAHASAN

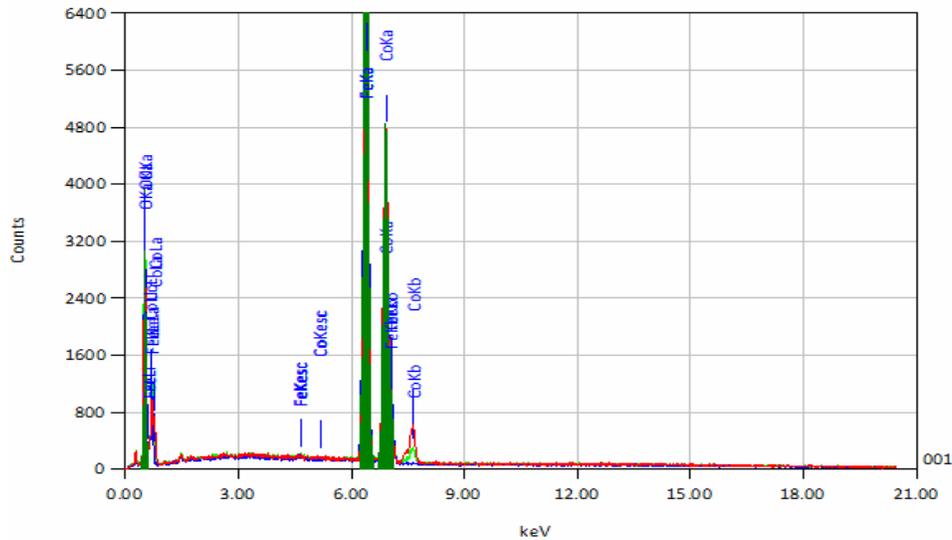
Struktur mikro tergantung pada proses pengerjaan, terutama proses perlakuan panas yang diterima selama proses pengerjaan. Perlakuan panas bertujuan untuk meningkatkan kekuatan mekanik logam, mengubah sifat fisik, sifat kimia dari material.

Analisa struktur mikro dan komposisi kimia pada permukaan lapisan CoNi diatas substrat Baja ST 37 menggunakan SEM pada posisi 1 titik 001, 003 dan 006. Gambar 1 menunjukkan titik-titik posisi yang diamati.



Gambar 1 Menunjukkan titik–titik posisi penindai pada sampel Baja ST 37

Dari hasil pengamatan metallografi terhadap baja ST 37 maka terlihat unsur yang terkandung dalam struktur mikro dan komposisi kimia pada permukaan lapisan CoNi diatas substrat Baja ST 37 ditunjukkan pada grafik gambar 2 dibawah ini :



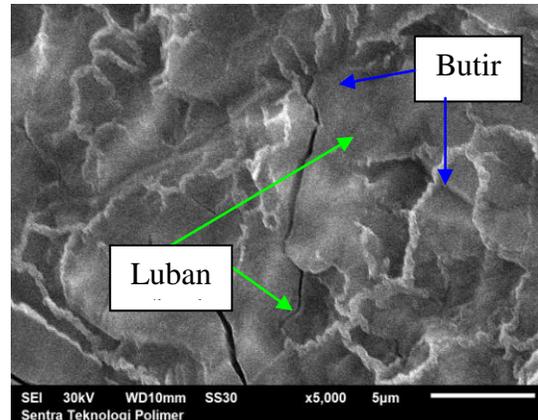
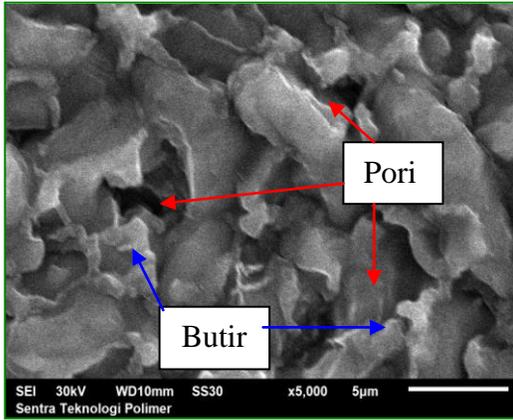
Gambar 2. Grafik unsur yang terkandung pada lapisan Baja ST 37

Dalam struktur mikro dan komposisi kimia pada permukaan lapisan CoNi pada grafik diatas ditunjukkan bahwa terdapat unsur oksigen (O), besi (Fe) dan cobalt (Co). Nilai unsur yang paling besar adalah unsur oksigen (O) yang mendominasi. Pada titik 001 antara oksigen, besi, dan cobalt tercampur dalam 1 titik. Sedangkan pada titik 003 tidak terdapatnya unsur cobalt dan yang mendominasi ialah oksigen dan pada titik 006 nilai cobalt yang didapat jumlahnya sangat kecil. Dapat dilihat pada data-data table 4 dibawah ini:

Tabel 4. Data hasil unsur pada lapisan Baja ST 37

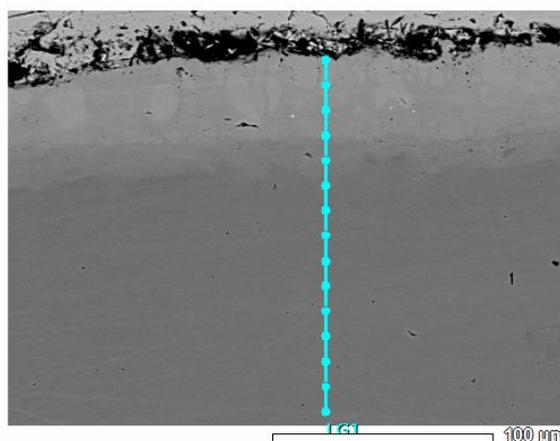
	O	Fe	Co	Total
001	55.27	23.94	20.79	100.00
003	58.11	41.89		100.00
006	57.71	33.08	9.21	100.00

Pengujian mikro struktur dan komposisi kimia pada permukaan lapisan CoNi diatas substrat Baja ST 37 dilakukan dengan sistem operasi SEM dengan 5 x perbesaran. Yaitu perbesaran 30 x, 50 x, 500 x, 2000 x dan 5000 x. Menggambarkan bentuk dan struktur bit individu informasi, tinggi, kekasaran, dan kecuraman dinding. Akan tetapi yang ditampilkan hanya perbesaran 5000 x karena lebih terlihat jelas perubahannya, sebagai berikut:



Gambar (3a). NiCo 75 % perbesaran x 5000 (grey) pada posisi titik 001 (3b). NiCo 75 % perbesaran x 5000 (hole) pada posisi titik 003

Struktur mikro Fe Co-Ni yang telah di *heat treatment* dengan suhu 1000 °C membentuk butir dan pori-pori yang tidak seragam. Dapat dilihat pada perbesaran 5000 x pada titik 001 pada permukaan yang berwarna abu-abu (grey) terdapat beberapa celah pori-pori dan butir-butir. Ukuran butir sebagian terlihat cukup banyak. Pada gambar 3a. NiCo 75 % perbesaran x 5000 (grey) pada posisi titik 001 terlihat gambar bentuk dan struktur individu pori-pori dan butiran sampel Baja ST 37 yang telah dilapisi Co-Ni. Sedangkan pada gambar 3b. NiCo 75 % perbesaran x 5000 (hole) pada posisi titik 003 terlihat beberapa keretakan/lubang dikarenakan pada proses pelapisan dengan metode *elektroplating* lapisan CoNi tidak terbentuk rata keseluruhan lapisan diatas substrat baja ST 37 dan pada saat diberikan perlakuan panas/*heat treatment* terjadinya keregangan pada sampel sehingga mengakibatkan lubang atau retak.



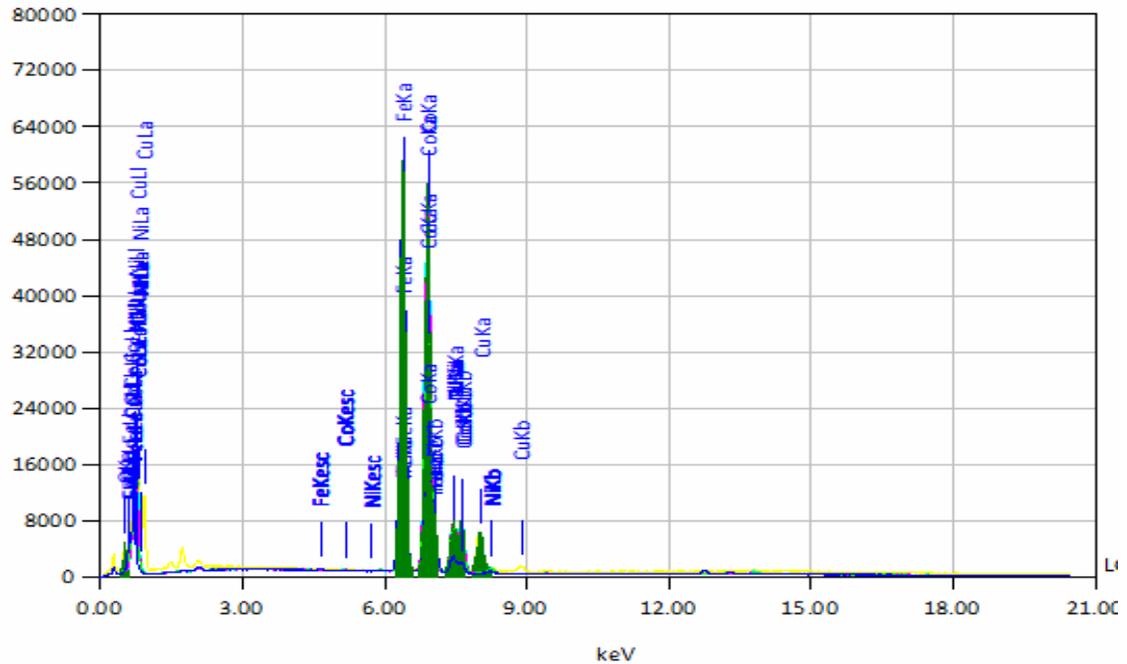
Gambar 4. Karakteristik SEM pada lapisan Fe Co-Ni tampang lintang

Tabel 6. Data tabel menunjukkan posisi titik unsur yang terkandung

Atom

	O	Fe	Co	Ni	Cu	Total
LG10010		78.54	21.46			100.00
LG10011		41.43	48.17	10.40		100.00
LG10012		11.99	77.65	10.36		100.00
LG10013		6.21	83.10	10.69		100.00
LG10014	22.16	4.77	54.78	7.18	11.12	100.00

Pada titik LG 0010 mulai terlihat nilai variasi pada Besi (Fe) tersebut. Pada titik nilai atom LG 0010 besi (Fe) menunjukkan adanya lapisan yang terbentuk antara Fe dan Co, dengan nilai Fe 78,54 dan Co 21,46 dengan jumlah total 100,00. Pada titik ke LG 0011, Nikel mulai masuk dengan nilai 10,40 bercampur pada besi 41,43 dan cobalt 48,17 dengan jumlah total 100,00. Titik LG 0012 nilai besi lebih dominan yaitu 11,99 sedangkan nilai unsur nikel 10,36 dan pada cobalt 77,6 dengan jumlah total 100,00. Pada LG 0013 nilai cobalt 83,10 lebih besar dibandingkan nilai pada nikel 10,69 maupun besi 6,21. sedangkan pada titik terakhir dapat terlihat pada variasi unsur besi (Fe) nilai fe 4,77 mulai berdifusi terhadap unsur-unsur lainnya seperti cobalt 54,78 dan nikel 7,18 adanya penambahan unsur yaitu oksigen 22,16 maka yang terjadi adalah lebih besarnya unsur cobalt pada lapisan yang terlapis dengan campuran Fe dan nikel karena pada saat itu terjadi proses difusi dimana terjadinya peristiwa mengalirnya/berpindahannya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian yang berkonsentrasi rendah. Perbedaan konsentrasi yang ada pada dua larutan disebut gradien konsentrasi. Difusi akan terus terjadi hingga seluruh partikel tersebar luas secara merata atau mencapai keadaan kesetimbangan dan bila diperhatikan masing-masing titik pada ke semua unsur bila dijumlahkan akan menghasilkan jumlah total yang terkandung adalah 100,00. Maka lapisan ini disebut lapisan Co-Ni.



Gambar 6. Grafik unsur tampak lintang

4 KESIMPULAN

Berikut adalah kesimpulan yang diperoleh dari penelitian :

1. Hasil pelapisan diatas substrat Baja ST 37 menggunakan metode deposisi *electroplating*, larutan elektrolit CoNi, dengan basis komposisi larutan Nikel-watts dengan komposisi NiSO_4 terdiri dari 75 % CoSO_4 , kemudian dilakukan *heat treatment* menggunakan tungku furnace selama 1000°C dan ditahan setelah 5 jam memperoleh ketebalan rata-rata $34.962797 \mu\text{m}$
2. Analisis struktur mikro dan komposisi kimia pada permukaan lapisan CoNi diatas subtrat Baja ST 37. Dari hasil pengujian metallografi sesudah di *heat treatment* dengan perbesaran x 5000, dihasilkan adanya pori, butir dan retak pada beberapa titik substrat disebabkan pada saat proses heat treatment/perlakuan panas.
3. Analisis struktur mikro dan komposisi kimia pada tampang lintang CoNi diatas substrat Baja ST 37 menunjukkan pada titik LG 0000 sampai dengan titik LG 0009 bahwa spesimen menunjukkan hanya mengandung unsur besi (Fe) belum adanya campuran dari lapisan unsur Cobalt atau Nikel. Nilai unsur Besi (Fe) yang tertera

adalah 100,00. dan Pada titik ke LG 0011, Nikel mulai masuk dengan nilai 10,40 bercampur pada besi 41,43 dan cobalt 48,17 dengan jumlah total 100,00. Titik LG 0012 nilai besi lebih dominan yaitu 11,99 sedangkan nilai unsur nikel 10,36 dan pada cobalt 77,6 dengan jumlah total 100,00. Pada LG 0013 nilai cobalt 83,10 lebih besar dibandingkan nilai pada nikel 10,69 maupun besi 6,21. sedangkan pada titik terakhir dapat terlihat pada variasi unsur besi (Fe) nilai Fe 4,77 mulai berdifusi terhadap unsur-unsur lainnya seperti cobalt 54,78 dan nikel 7,18 adanya penambahan unsur yaitu oksigen 22,16 maka yang terjadi adalah lebih besarnya unsur cobalt pada lapisan yang terlapis dengan campuran Fe dan nikel karena pada saat itu terjadi proses difusi dimana terjadinya peristiwa mengalirnya/berpindahannya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian yang berkonsentrasi rendah.

4. Lapisan yang terbentuk, dengan nilai unsur pada besi 41,43 pada cobalt 48,17 dan pada nikel 10,40 dengan jumlah total unsur yang terkandung pada lapisan Fe CoNi adalah 100.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Oktaviana T.D, 2009. Aptika. *Teknologi Penginderaan Mikroskopi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [2] Martinez, M., 2010, *Sebuah Pemahaman Dasar Scanning Electron Microscopy (SEM) and Mikroskop Elektron (SEM) dan Energy Dispersive X-ray Detection (EDX) Energi dispersif X-ray Deteksi*
- [3]. Nur, Marhamah. *Scanning Electron Microscopic*. Posted on December 18, 2010 by laskarvck.
- [4]. Hariyati. 2009. *Karakterisasi Struktur Mikro dan Perubahan Fasa NiCoCrAlY Sebagai Material Perintang Panas*. Surabaya: ITS.
- [5]. Irawan, 2010, *Energi dispersif X-Ray Analisis*, (<http://artikelbiboer.blogspot.com>), diakses 15 September 2010.
- [6]. Budidoyo. 20011. *Karakterisasi Scanning Electron Microscope (SEM) Hidroksiapatit dari Gypsum Alam cikalong*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- [7] Gomez, dkk. 1988. *Electrodeposition of Co±Ni alloys*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- [8] Hasan, Fatma. 2011. Pembuatan Lapisan Komposit NiAl/Al₂O₃ pada Substrat Baja dengan Kombinasi Metode Deposisi *Electroplating*, *Pack-cementation*, dan *Electrophoretic*. Tangerang: UNESA

HARDNESS AND CORROSION RATE OF COCRMO

M. N Indro¹, H. Wiranata¹, and S.G. Sukaryo²

1. Departemen Fisika FMIPA IPB, Bogor
2. PT BIN BATAN, Serpong.

ABSTRAK

Synthesis of bulk CoCrMo with the composition around 30% Co, 65% Cr, and 5% Mo had been done through melting, forging, and rolling processes. The material is potentially applied in orthopedic implant since it is biocompatible, strong, and has a low corrosion rate. A small portion of Nitrogen may be added to the composition in order to stabilize and improve its hardness. It is found in this investigation that Nitrogen (0,6% of the composition) results in improvement around 25% of the hardness, however it is also increase the corrosion rate from 0.0025 to 0.0329

Key words: **CoCrMo, hardness, corrosion rate**

1 INTRODUCTION

Physical accident, osteoporoses, and osteoarthritis are the major cases that increase the need of synthetic biomaterials in medical application[1]. Metal based biomaterials might be implanted in human or animal body[2]. The materials implanted should be biocompatible and do not cause any negative impact for the living body[3]. Stainless steel, Ti-Al, and Co-Cr-Mo alloys may be used as implant materials in human body to improve human bone problems[3].

The CoCrMo alloy investigated in this experiment was prepared through melting, forging and rolling processes. The composition of the material was set to accommodate the ASTM F75 (American Society for Testing and Materials)[4] requirement as shown in the Table 1. CoCrMo alloys have been widely used as implant materials in order to support human bones since it is biocompatible, have good mechanical properties and low corrosion rate[5]. The corrosion protection of the material is supported by a thin chromium oxide film on the surface as a result of oxidation process when the material in an open room[5]. Heating, forging, and cold working treatments on CoCrMo result in a strong alloy consist

of small grains and low porosity which is match with a physical requirement for implant material[6].

Table 1. Composition of CoCrMo (ASTM F75 standard).⁴

Element	Wt (%)
Chromium, Cr	27 – 30
Molybdenum, Mo	5 -7
Nickel, Ni	< 2,5
Iron, Fe	< 0,75
Carbon, C	< 0,35
Silicone, Si	< 1
Manganase, Mn	< 1
Nitrogen, N	< 0,25
Cobalt, Co	63 - 65

Experimental

The elements prepared for synthesizing 10 gram CoCrMo are in the Table 2. The nitrogen element was added through Cr_2N compound. The elements were mixed and pressed under a pressure around 4000 psi in a cylindrical tube with the diameter around 1 cm. The bulks produced from this process are 4 solid disks with the thickness around 1 cm, and they are called as sample A, B, C, and D. The sample A is associated with the sample contains 0% nitrogen + 64% cobalt, The samples B, C, and D are associated with the sample contains 0.35 % N + 63.65% Co, 0.6% N + 63.4% Co, and 1% N + 63% Co respectively. The pellets then were melted at around 3000⁰C in an electric furnace, and then cold. The forging and rolling treatments were done at the temperature around 1200⁰C followed by quenching in water. The forging and rolling processes were done several times to produce flat samples with the thickness around 1 mm. Each sample then was cut to be 4 pieces for different characterizations (XRD, hardness, corrosion rate, and optical observation). A Surface of each sample then was ground using aluminum oxide abrasive film from 400 to 2000 mesh.

XRD observations on one sample A, B, C, and D were done in order to make sure that the CoCrMo compound had been formed. The observations were carried out using Shimidzu XRD with the wavelength $\lambda = 1.54$ angstrom. The data result from the observation were then compared with the JCPDS data for CoCrMo materials.

The hardness tests were done three times using Vickers hardness tester for a surface of sample A, B, C, and D. The average hardness data of the each surface then was calculated.

Corrosion rate values of the samples A, B, and C were also tested in a simulated body fluid (sbf) in order to know a chemical effect of the nitrogen content.

Table 2. Composition of the elements for composing 10 gram CoCrMo.

Element	Mass (gram)
Chromium (Cr)	3.00
Molybdenum (Mo)	0.50
Manganese (Mn)	0.05
Silicon (Si)	0.05
Nitrogen (N)	0
	0.035
	0.06
	0.10
Cobalt (Co)	6.40
	6.365
	6.34
	6.30

Results and Discussion

The forging, rolling, and cleaning processes result in bulk samples as shown in the Diagram 1. The Diagram shows a sample that is partly oxidized, a cracked sample, and a clean sample.

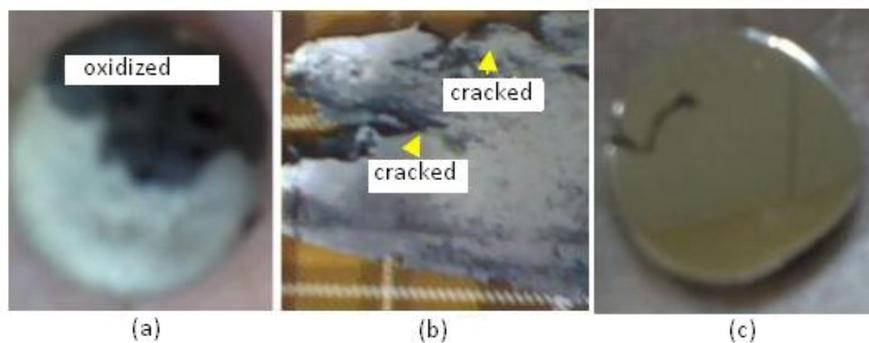


Diagram 1 (a) sample that is partly oxidized, (b) cracked sample, (c) clean sample.

It is shown from the XRD observations that the CoCrMo alloys had been formed, though they are less homogeneous than that were expected.

The average hardness data result from the experiment are presented in the Table 3.

Table 3. Average hardness of CoCrMo surfaces

Sample composition	Sample code	Average hardness (N/mm ²)
CoCrMo (N=0%)	A	492
CoCrMo (N=0.35%)	B	599.67
CoCrMo (N=0.6%)	C	633.67
CoCrMo (N=1%)	D	689.33

It is clearly seen from the data above that an addition of nitrogen (0,6%) to the CoCrMo compound results in increasing of its hardness around 25% from 492 to 633.67 N/mm². Weaver[7]. had found that the hardness values of adult human bones are in between 50 to 85 grams/mm². This means that the CoCrMo samples produced in this experiment are much harder than the human bones. It is also found in our investigation that increasing nitrogen content in the CoCrMo samples has increased its corrosion rate (Table 4) when the samples were tested in a simulated body fluid.

Table 4. Corrosion rate of the CoCrMo samples.

Sample	Nitrogen Content (%)	Corrosion Rate (mpy)
A	0	0.0025
B	0.35	0.0254
C	0.60	0.0329

$$1 \text{ mpy (mils/year)} = 0.0254 \text{ mm/year [8]}$$

The data in the Table 4 show an unexpected result. The nitrogen content that increases the mass density should reduce the corrosion rate since it reduces the porosity of the samples. Lutz et al[9] suggested that increasing of the corrosion rate of the CoCrMo samples might be associated with the lack of Cr₂O₃ compound covering the sample surfaces. Since

the nitrogen addition was carried out through adding Cr₂N, it is expected that some of the Cr might be oxidized to produce Cr₂O₃ layer on the surface.

Conclusion

Melting process followed by forging and rolling might be carried out to develop CoCrMo plates which are much harder than human bones. The processes should be improved to find more homogenous samples. The CoCrMo samples are having a low corrosion rate that may be a good quality implant material. An addition of nitrogen (0,6%) to the CoCrMo compound results in increasing of its hardness around 25%. Adding nitrogen through Cr₂N is a proper way since it caused a formation of Cr₂O₃ layer which may improve the corrosion protection.

References

- [1] Ismayadi. (2004). *Asuhan keperawatan degan reumatik (artitistreumatoid) padalansi*. [skripsi]. Sumatera Utara: Fakultas Kedokteran, Universitas Sumatera Utara.
- [2] Junaidi, S. (2009). *Biomaterial Berbasis Logam*. Aplikasi Teknologi, Featured, Material Sains, Agustus 2009. 15 April 2011
- [3] <http://www.infometrik.com/biomaterial-berbasis-logam/>
- [4] Nasab, M.B., Hassan, M.R., (2010). Metallic biomaterials of knee and hip. *Trends Biomater Artif. Organs* 24:69-82).
- [5] Joseph, D.B. (1995). *Biomedical engineering handbook*. ISBN 0-8493-8346-3: IEEE Press.
- [6] Turkan, U., Orhan O, Eroglu, A.E. (2006). Metal ion release from nitrogen ion implanted CoCrMo orthopedic implant material. *Surface & Coatings Technology* 200:5687–5697.
- [7] Prasetyo A. (2010). *Pengaruh Variasi Kandungan Silikon terhadap Korosi Paduan Kobalt (ASTM F 75) Hasil Metalurgi Serbuk dalam Larutan Artificial Blood Plasma dengan Teknik Polarisasi Potensiodinamik dan Teknik Exposure* [tesis]. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

- [8] Weaver, J.,K. (1966). Microscopic Hardness of Bones, Journal of Bone and Joint Surgery, volume 48, issue 2. (<http://jbjs.org/article.aspx?articleid=14474>).
- [9] Mudali, U.K., Sridar, T.M., and Baldev, R. (2003), Corrosion of Bioimplants, Sadhana, vol. 28, part 3&4.
- [10] Lutz et al. (2011). Corrosion Behavior of CoCr Alloy after Nitrogen Immersion, Journal of Surface and Coatings Technology, vol.205, no.8, pp. 3043-3049. <http://libra.msra.cn/Publication/49258121/corrosion-behaviour-of-medical-cocr-alloy-after-nitrogen-plasma-immersion>.
- [11] Pramanik, S., Agarawal, A.K., and Rai, K.N. (2005). Development of high strength hydroxyapatite for hardtissue replacemen. *Trends Biomater artif oragans* 19(1):46-51.

**SIMULASI SEL SURYA MODEL DIODA DENGAN HAMBATAN SERI DAN
HAMBATAN *SHUNT* BERDASARKAN VARIASI INTENSITAS RADIASI,
TEMPERATUR, DAN SUSUNAN MODUL**

**M. Dirgantara¹, M. Saputra², P. Aulia³, Z. Deofarana⁴, B. Setiadi⁵,
H. Syafutra⁶, A. Kartono⁷**

¹Departemen Fisika Institut Pertanian Bogor, Bogor^{1*,2,3,4,5,6,7}

Email: dirgantaramade@gmail.com

ABSTRAK

Sel surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan semakin banyak digunakan saat ini. Kualitas sel surya dapat dilihat dari daya yang dihasilkan. Banyak faktor yang mempengaruhi daya yang dihasilkan sel surya diantaranya intensitas radiasi, temperatur dan susunan sel surya dalam modul. Makalah ini membahas karakteristik kurva I-V dan P-V berdasarkan variasi intensitas radiasi, temperatur dan susunan sel surya dalam modul. Karakteristik tersebut diperoleh melakukan simulasi secara numerik dengan Metode *Newton Raphson*. Hasil yang diperoleh dalam simulasi ini menunjukkan intensitas radiasi lebih berpengaruh terhadap perubahan daya maksimum dibandingkan dengan perubahan temperatur. Susunan kombinasi seri-paralel menghasilkan daya maksimum lebih besar dibandingkan susunan seri atau paralel saja.

Kata kunci: intensitas radiasi, temperatur, susunan modul, *Newton-Raphson*, daya

1 PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dunia terus meningkat seiring dengan tingkat kemajuan peradaban umat manusia. Pemanfaatan sumber energi konvensional seperti batu bara, bahan bakar minyak, gas alam, dan lain-lain di satu sisi memiliki biaya operasional murah, namun di sisi lainnya menghadapi kendala yang semakin besar. Kendala tersebut adalah sumbernya yang semakin berkurang dan yang lebih penting lagi munculnya persoalan polusi lingkungan hidup yang membahayakan bagi kehidupan umat manusia itu sendiri. Oleh karena itu pengembangan sumber tenaga alternatif yang terbarukan dan bebas polusi menjadi kebutuhan mendesak bagi seluruh umat manusia. Sumber-sumber tenaga terbarukan tersebut seperti tenaga surya, tenaga angin, tenaga air, tenaga gelombang air laut dan lain-lain.

Indonesia terletak di sepanjang garis khatulistiwa, sehingga sumber-sumber energi terbarukan di atas sangat melimpah. Dalam hal energi surya, Indonesia menerima radiasi

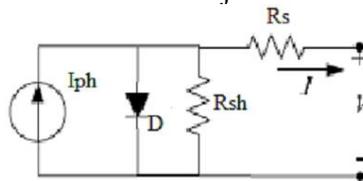
energi harian rata-rata persatuan luas persatuan waktu sebesar kira-kira 4.8kW/m^2 [1]. Namun demikian pemanfaatan energi tersebut belum dilakukan secara optimal baik dalam bidang riset maupun terapannya.

Sel surya secara sederhana, merupakan sambungan dua semikonduktor tipe P dan N. Dalam sambungan P-N tersebut terbentuk tiga daerah berbeda. Pertama daerah tipe P, yang mayoritas pembawa muatannya adalah *hole*, kedua daerah tipe N dengan mayoritas pembawa muatan adalah elektron dan ketiga adalah daerah pengosongan (depleksi) yang memiliki medan listrik internal dengan arah dari N ke P [2]. Ketika radiasi mengenai sel surya maka akan terbentuk elektron dan hole, sehingga pengaruh medan listrik internal menyebabkan *hole* bergerak menuju P (mayoritas pembawa muatan adalah hole) dan elektron bergerak menuju N (mayoritas pembawanya elektron). Fenomena ini menghasilkan arus foto-difusi. Sedangkan pada daerah pengosongan dapat pula terjadi pasangan *hole* dan elektron karena pengaruh medan internal yang sama akan bergerak menuju ke arah mayoritasnya, sehingga menghasilkan arus generasi.

Makalah ini membahas tentang pengaruh variasi intensitas radiasi, temperatur dan susunan sel dalam modul terhadap arus, tegangan dan daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya. Sel surya yang digunakan adalah model diode dengan hambatan seri dan hambatan *Shunt*. Simulasi ini menggunakan parameter sel surya dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [3].

2 METODE PENELITIAN

Model sel surya pada simulasi ini ditunjukkan oleh skema rangkaian pada Gambar 1.



Gambar 1 Model Sel Surya

Rangkaian ekuivalen yang ditunjukkan pada Gambar 1 terdiri atas arus *fotovoltaik* , sebuah dioda, sebuah resistor paralel yang menggambarkan kebocoran arus dan sebuah resistor seri yang menunjukkan hambatan internal terhadap aliran arus. Persamaan yang menunjukkan karakteristik arus dan tegangan dari rangkaian di atas [4] adalah

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{NkT}\right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

di mana,

I_{ph} adalah arus *fotovoltaik* yang dibangkitkan oleh energi radiasi matahari (A),

I_s adalah arus saturasi ketika tidak ada energi radiasi matahari yang mengenai sel surya (A),

q adalah muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)

k adalah konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T adalah temperatur sel surya (K),

N adalah faktor ideal,

R_{sh} adalah resistansi *Shunt*, dan

R_s adalah resistansi seri sel surya.

Arus *fotovoltaik* dipengaruhi oleh intensitas radiasi dan temperatur sel yang digambarkan oleh persamaan^[4]

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - T_{ref})] \frac{\beta}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (2)$$

di mana,

I_{sc} adalah arus *short circuit* sel surya pada 25 °C dan 1 kW/m²,

K_i adalah koefisien temperatur untuk arus *short circuit*,

T_{ref} adalah temperatur referensi sel surya(298 K),

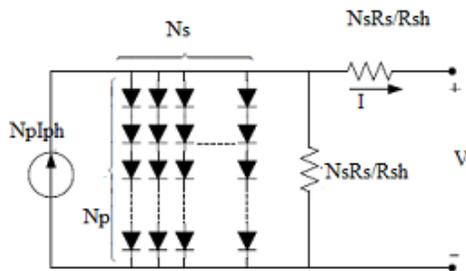
β adalah intensitas radiasi (W/m²)

Arus saturasi bervariasi terhadap temperatur sel berdasarkan persamaan^[4]

$$I_s(T) = I_s \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 \exp\left[\left(\frac{T}{T_{ref}} - 1\right) \frac{E_G}{NkT}\right] \quad (3)$$

di mana E_G adalah energi *gap* dari semikonduktor yang digunakan pada sel.

Sebuah modul sel surya terdiri dari sejumlah sel surya yang dihubungkan secara seri, paralel atau keduanya. Skema rangkaian ekuivalen sebuah modul sel surya disusun dari sejumlah N_p sel paralel dan N_s sel seri ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Rangkaian Ekuivalen Susunan Sel Surya dalam Modul

Persamaan (4) menunjukkan hubungan arus dengan variasi susunan sel surya dalam modul berdasarkan jumlah sel yang disusun seri (N_s) dan jumlah sel yang disusun paralel (N_p) [4].

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_s \left[\exp \left(\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + IR_s \right)}{NkT} - 1 \right) - \frac{N_p V}{N_s} + IR_s \right] \quad (4)$$

Nilai arus pada persamaan (1) dan (4) merupakan fungsi dari arus itu sendiri. Persamaan (1) dan (4) dapat diubah menjadi persamaan (5) dan (6) sebagai berikut

$$f(I) = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q(V+IR_s)}{NkT} \right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} - I = 0 \quad (5)$$

$$f(I) = N_p I_{ph} - N_p I_s \left[\exp \left(\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + IR_s \right)}{NkT} - 1 \right) - \frac{N_p V}{N_s} + IR_s \right] - I = 0 \quad (6)$$

Persamaan (5) dan (6) merupakan persamaan homogen yang memiliki akar bernilai I . Akar persamaan tersebut dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan *Newton-Raphson*. Nilai I untuk V tertentu dihitung secara numerik melalui serangkaian proses iterasi i dengan perumusan

$$I_{i+1} = I_i - \frac{f(I)}{f'(I)} \quad (7)$$

di mana $f(I)$ merupakan turunan pertama dari $f'(I)$ terhadap I . Daya yang dihasilkan rangkaian sel surya adalah P . Setiap nilai P merupakan hasil perkalian masing-masing nilai arus dan tegangan.

Simulasi pengaruh intensitas radiasi dilakukan dengan memvariasikan nilai β pada persamaan (2). Nilai β yang digunakan adalah 1.000 W/m^2 , 900 W/m^2 , 800 W/m^2 , 700 W/m^2 dan 600 W/m^2 . Nilai I_{ph} yang diperoleh dari perhitungan tersebut dimasukkan ke persamaan

(1) untuk menghitung nilai arus yang dihasilkan sel surya dengan menggunakan pendekatan *Newton-Raphson* pada persamaan (7). Hasil simulasi disajikan dalam bentuk grafik hubungan arus terhadap tegangan dan grafik hubungan daya terhadap tegangan.

Simulasi pengaruh temperatur sel surya dilakukan dengan memvariasikan nilai T pada persamaan (3). Nilai T yang digunakan adalah 25 °C, 27,5 °C, 30 °C, 32,5 °C dan 35 °C. Nilai I_s yang diperoleh dari perhitungan tersebut dimasukkan ke persamaan (1) untuk menghitung nilai arus yang dihasilkan sel surya dengan menggunakan pendekatan *Newton-Raphson* pada persamaan (7). Hasil simulasi disajikan dalam bentuk grafik hubungan arus terhadap tegangan dan grafik hubungan daya terhadap tegangan.

Nilai intensitas radiasi diturunkan sebesar 10 % dari nilai awal dan nilai temperatur ditingkatkan sebesar 10 % dari nilai awal untuk setiap variasi. Perubahan nilai daya maksimum (P_{max}) untuk setiap perubahan intensitas radiasi dan temperatur dapat dibandingkan. Hasil perbandingan akan menunjukkan variabel yang lebih berpengaruh terhadap daya maksimum yang dihasilkan sel surya.

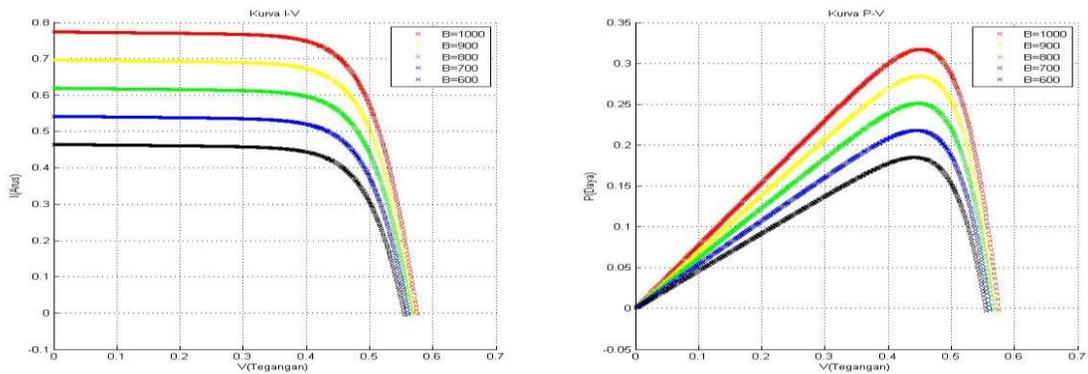
Simulasi pengaruh susunan sel surya dalam modul dilakukan dengan memvariasikan nilai N_s dan N_p pada persamaan (4). Variasi nilai yang digunakan adalah $N_s=9$ dan $N_p=1$, $N_s=1$ dan $N_p=9$ serta $N_s=5$ dan $N_p=5$. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menghitung nilai arus yang dihasilkan dengan menggunakan pendekatan *Newton-Raphson* pada persamaan (7). Hasil simulasi disajikan dalam bentuk grafik hubungan arus terhadap tegangan dan grafik hubungan daya terhadap tegangan.

Nilai-nilai parameter diperoleh dari data penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Nilai I_{ph} adalah 0,7608 A, I_s adalah 0,3223 μ A, R_s adalah 0,0364 Ω , R_{sh} adalah 0.0186 Ω dan N adalah 1,4837 [3]. Bahan yang digunakan adalah silicon dengan nilai E_G sebesar 1,2 eV [5].

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Efek Variasi Intensitas Radiasi terhadap Arus, Tegangan dan Daya

Intensitas radiasi sangat mempengaruhi besar kecilnya arus yang dihasilkan. Berdasarkan persamaan (2), intensitas radiasi sel surya berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan. Hasil simulasi hubungan arus dan tegangan ditunjukkan pada Gambar 3(a) sementara hubungan daya dan tegangan ditunjukkan pada Gambar 3(b).



(a) (b)

Gambar 3 (a)Grafik I-V untuk variasi intensitas radiasi

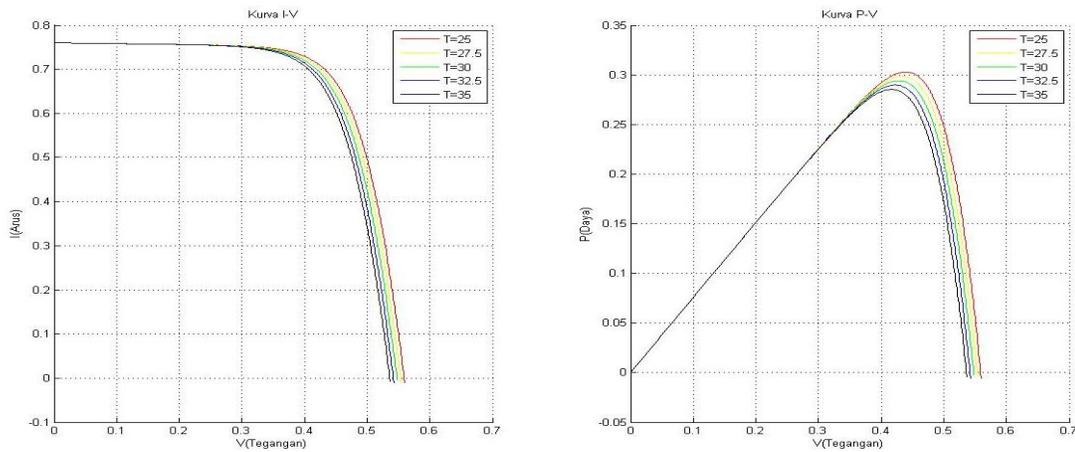
(b) Grafik P-V untuk variasi intensitas radiasi

Hasil simulasi yang menunjukkan arus *short circuit* mengalami penurunan ketika intensitas radiasi yang diterima oleh sel surya berkurang. Intensitas radiasi yang berkurang menyebabkan elektron-elektron yang terlepas semakin sedikit sehingga arus listrik menurun. Gambar di atas juga memperlihatkan intensitas radiasi berpengaruh terhadap perubahan tegangan *open circuit*. Tegangan *open circuit* semakin berkurang ketika intensitas radiasi dikurangi tetapi perubahannya tidak signifikan.

Gambar 3(b) menunjukkan bahwa semakin kecil intensitas radiasi yang diterima sel surya maka daya maksimum yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan daya merupakan perkalian antara arus dan tegangan, dimana arus dan tegangan maksimum akan mengecil dengan mengecilnya radiasi yang diterima.

3.2 Efek Variasi Temperatur terhadap Arus, Tegangan dan Daya

Hasil simulasi efek variasi temperatur terhadap arus, tegangan dan daya dapat dilihat pada Gambar 4(a) dan 4(b). Gambar 4(a) memperlihatkan bahwa semakin besar temperatur maka nilai tegangan *open circuit* akan semakin kecil. Hal ini disebabkan penurunan energi *gap* ketika temperatur meningkat^[6]. Gambar 4(b) memperlihatkan bahwa semakin besar suhu maka daya maksimum semakin kecil. Hal ini disebabkan tegangan maksimum berkurang terhadap kenaikan suhu.



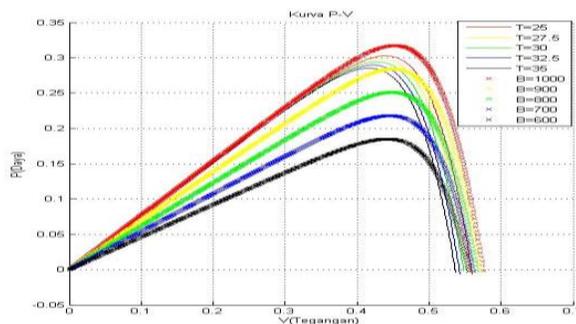
(a) (b)

Gambar 4.(a) Grafik I-V untuk Variasi Temperatur

(b) Kurva P-V untuk Variasi Temperatur

3.3 Perbandingan Pengaruh Intensitas Radiasi dan Temperatur Terhadap Daya

Simulasi pengaruh intensitas radiasi menunjukkan setiap kenaikan intensitas radiasi sebesar 10% meningkatkan daya maksimum sebesar 0,0331W. Simulasi pengaruh temperatur menunjukkan setiap kenaikan temperatur sebesar 10% menurunkan daya maksimum sebesar 0,0044 W. Perbandingan hasil ini menunjukkan bahwa perubahan intensitas radiasi lebih berpengaruh terhadap daya maksimum yang dihasilkan.



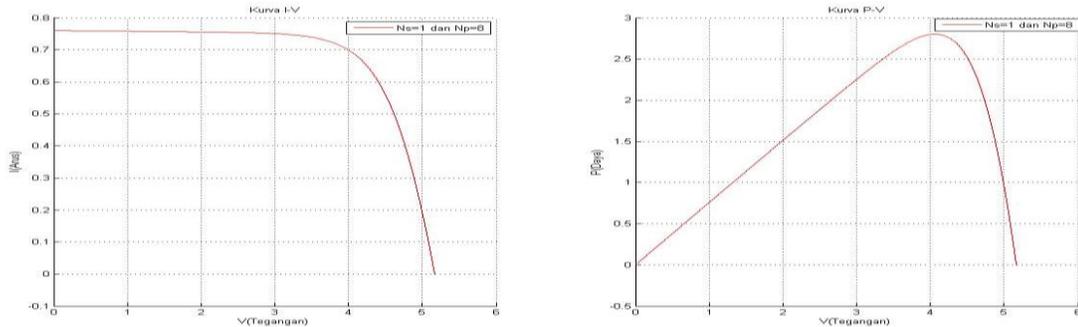
Gambar 5 Perbandingan Antara Intensitas Radiasi dan Temperatur

3.4 Pengaruh Susunan Sel Surya dalam Modul

3.4.1 Susunan Seri Sel Surya dalam Modul

Hasil simulasi susunan seri sel surya dalam modul menunjukkan besar tegangan maksimumnya 5,1670 V dan arus maksimumnya sebesar 0,7602 A dan daya maksimumnya sebesar 2,8025 W. Gambar 6(a) menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan dan

Gambar 6(b) menunjukkan hubungan antara daya dan tegangan. Hasil simulasi diatas menunjukkan bahwa penyusunan seri meningkatkan tegangan tetapi arus konstan.

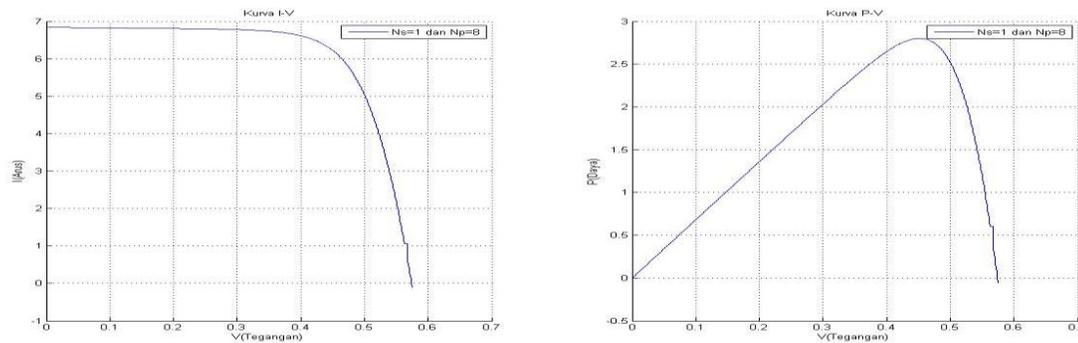


(a) (b)

Gambar 6 (a) Grafik I-V Susunan Seri, (b) Grafik P-V Susunan Seri

3.4.2 Susunan Paralel Sel Surya dalam Modul

Hasil simulasi susunan paralel sel surya dalam modul menunjukkan besar tegangan maskimum 0,5750 V , arus maksimum sebesar 6,8425 A dan daya maksimum sebesar 2,8025 W. Gambar 7 (a) menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan dan Gambar 7 (b) menunjukkan hubungan antara daya dan tegangan. Hasil simulasi di atas menunjukkan bahwa penyusunan seri meningkatkan arus tetapi tegangan konstan.



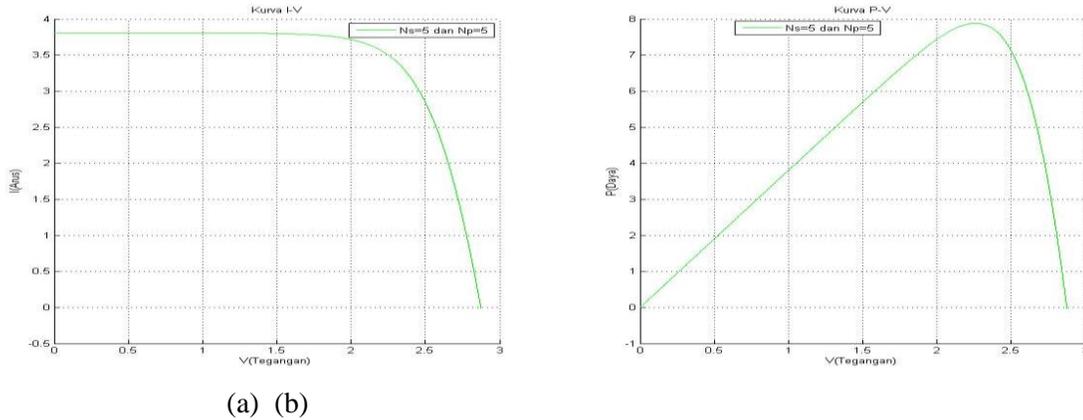
(a) (b)

Gambar 7 (a) Grafik I-V Susunan Seri, (b) Grafik P-V Susunan Paralel

3.4.3 Kombinasi Susunan Seri dan Paralel Sel Surya dalam Modul

Hasil simulasi susunan paralel sel surya dalam modul menunjukkan besar tegangan maskimum 2,87399 V dan arus maksimum sebesar 3,80399 A dan daya maksimum sebesar 7,87955 W. Gambar 8 (a) menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan dan Gambar 8 (b) menunjukkan hubungan antara daya dan tegangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa

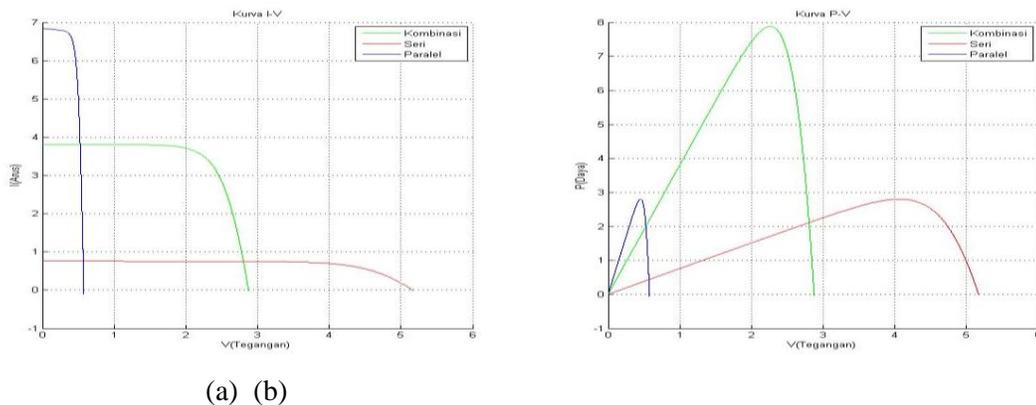
kombinasi susunan seri dan paralel menghasilkan daya yang besar dengan meningkatkan arus dan tegangan.



Gambar 8 (a) Grafik I-V dan (b) Grafik P-V Kombinasi Seri-Paralel

3.4.3 Perbandingan Susunan Seri, Paralel dan Kombinasi Sel Surya dalam Modul

Perbandingan susunan seri, paralel dan kombinasi seri-paralel sel surya dalam modul dapat dilihat pada Gambar 9. Gambar 9 (a) memperlihatkan hubungan arus terhadap tegangan, terlihat susunan seri memiliki tegangan maksimum tertinggi, susunan paralel memiliki arus maksimum tertinggi dan susunan kombinasi seri-paralel memiliki tegangan dan arus di antara kedua susunan tersebut. Gambar 9 (b) memperlihatkan hubungan daya terhadap tegangan, terlihat daya maksimum antara susunan seri dan paralel hampir sama, dan susunan kombinasi seri-paralel mempunyai daya maksimum lebih besar dibandingkan seri atau paralel saja.



Gambar 9 (a) Perbandingan Grafik I-V dan (b) Perbandingan Grafik P-V untuk Susunan Seri, Paralel dan Kombinasi Seri-Paralel

4 KESIMPULAN

Peningkatan intensitas radiasi meningkatkan daya maksimum yang dihasilkan sel surya. Peningkatan temperatur sel surya menurunkan daya maksimum yang dihasilkan sel surya. Perubahan intensitas radiasi lebih berpengaruh terhadap perubahan daya maksimum dibandingkan dengan perubahan temperatur. Susunan kombinasi seri-paralel menghasilkan daya maksimum lebih besar dibandingkan susunan seri atau paralel saja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Archie WC. 1984. *Prinsip-prinsip Konversi Energi* (Terjemahan) oleh Darwin S. Jakarta: Erlangga.
- [2] Ricaud A. 1997. *Photopoles solaire*. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romande.
- [3] Nehaoua N, Chergui Y, Mekki DE. 2011. A New Model for Extracting the Physical Parameters from I-V Curves of Organic and Inorganic Solar Cells. *Sillicons Wafer-Based Technologies* : 53-66.
- [4] Sonal P, Saini RP. 2012. Development and Simulation of Solar Photovoltaic Model using MATLAB/Simulink and Its Parameter Extraction. *International Conference on Computing and Control Engineering*. Roorke: Coimbatore Institute of Information Technology
- [5] Low JJ, Kreider ML, Pulsifer DP. Band Gap Energy in Sillicon. *American Journal of Undergraduate Research* 7(1): 27-32
- [6] Zeghbroeck BV. 2011. *Principles of Semiconductor Devices*. Colorado: University of Colorado Boulder.

DINAMIKA SOLITON PADA RANTAI PROTEIN ALPHA HELIKS BERDASARKAN ANSATZ II MODEL DAVYDOV

Faozan Ahmad ^{1*}, Zuliyatin ², Husin Alatas ³

Bagian Fisika Teori, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Pertanian Bogor, Bogor^{1*,2,3}
faozan@ipb.ac.id

ABSTRAK

Pemahaman terhadap mekanisme transfer dan penyimpanan energy pada makromolekul biologi sangat penting, untuk mengetahui sifat dan cara kerjanya. Pada penelitian ini, telah ditinjau pengaruh variasi kopling eksiton-fonon dan kopling dipol-dipol antar amida I (CO) terhadap dinamika soliton pada protein berdasarkan model Davydov. Dari hasil kajian disimpulkan bahwa kopling eksiton-fonon menentukan derajat nonlinieritas yang akan menentukan apakah transfer energy bersifat solitonik atau dispersif, sedangkan kopling dipol-dipol menentukan kelajuan gelombang soliton pada rantai protein.

Katakunci: soliton davydov, dinamika protein

1 PENDAHULUAN

Mekanisme kerja dari makromolekul biologi senantiasa melibatkan proses transfer dan penyimpanan bioenergi yang dihasilkan dari proses hidrolisis ATP (Adenosine Triphosphate), seperti halnya pada kontraksi otot, transport aktif, *protein folding* dan *DNA repair*. Namun hingga kini pengetahuan terhadap mekanisme proses masih belum begitu jelas, ada beberapa model yang sudah diusulkan untuk menjelaskan proses tersebut, salah satunya adalah Model Davydov. Saat ini kajian terhadap model transfer energi pada struktur molekuler juga dapat menjadi dasar bagi tantangan teknologi ke depan yaitu fononika dan nanoteknologi, dimana teknologi dituntut untuk mampu membuat piranti molekuler yang mampu mentransfer informasi dalam skala nano.

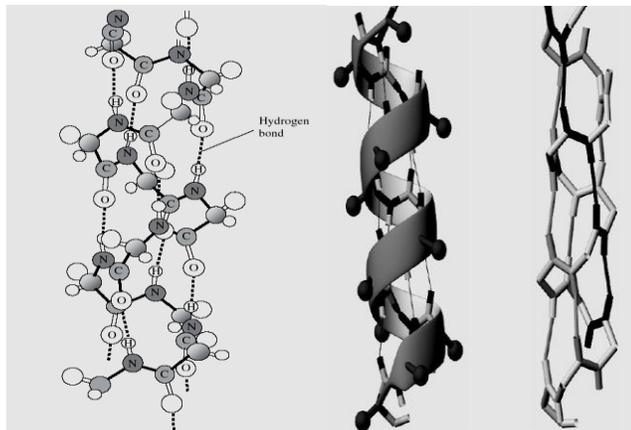
Davydov mengusulkan suatu model yang berusaha menjelaskan mekanisme transfer dan penyimpanan bioenergi pada protein. Model yang diajukan oleh Davydov ini menggunakan pendekatan teori zat padat yaitu konsep eksiton yang sebelumnya diusulkan oleh Frankel dan Landau [1]. Pada model ini Davydov mengklaim bahwa transfer energi pada protein bersifat solitonik. Bioenergi yang dihasilkan dari hidrolisis ATP disimpan sebagai energi vibrasi peregangan ikatan kovalen C=O. Eksperimen secara langsung untuk membuktikan kebenaran teori ini masih sulit terkait dengan kompleksitas struktur protein,

struktur yang tidak benar-benar periodik, dan tidak membentuk kristal tunggal. Tetapi walaupun demikian eksperimen pada kristal sederhana *acetanilida* memberikan hasil yang mendukung model teori Davydov [1,2,3,6].

Pada penelitian ini, akan ditinjau pengaruh variasi kopling eksiton-fonon dan kopling dipol-dipol antar amida I (vibrasi CO) terhadap dinamika soliton pada protein berdasarkan model Davydov.

2 MODEL DAVYDOV

Struktur α -Heliks merupakan konformasi polipeptida yang paling stabil. Struktur α -heliks terbentuk akibat adanya tiga ikatan hidrogen antar grup peptida sehingga tampak bahwa struktur α -heliks memiliki 3 kanal (*chain*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Struktur α -Heliks bersifat right-handed, berputar berlawanan arah jarum jam dan dalam satu putaran penuh terdapat 3.6 asam amino. Energi yang dibutuhkan untuk pembentukan satu ikatan hidrogen antar peptida dalam orde 0.21 eV. Nitrogen peptida bekerja sebagai donor hidrogen, dan oksigen karbonil sebagai akseptor hidrogen. Ikatan hidrogen ini memiliki jarak optimal sebesar 4.5\AA [1,5].



Gambar 1 Struktur protein α -heliks.

Protein dapat dipandang sebagai bio-mesin yang mampu mengkonversi energi kimia menjadi energi mekanik. Hal yang menarik dari protein yang hingga saat ini masih menjadi *open problem* adalah kemampuan protein dalam menyimpan dan mentransmisikan energi dalam kuantum kecil secara efisien. Salah satu model yang berusaha untuk menjelaskan

mekanisme transfer dan penyimpanan energi pada makromolekul biologi adalah model Davydov yang diusulkan oleh A.S. Davydov.

Dalam model Davydov bioenergi dalam protein disimpan sebagai energi vibrasi dari mode amida-I (peregangan C=O). Ide ini berangkat dari kenyataan bahwa energi yang dihasilkan dari hidrolisis ATP yaitu sekitar 0.42 eV adalah dua kali kuantum energi vibrasi C=O, dimana satu kuantum vibrasi C=O berenergi sebesar 0.205 eV. Mode vibrasi amida-I terkopling dengan kisi fonon. Interaksi vibrasi internal C=O, osilator frekuensi tinggi (eksiton), dengan vibrasi kisi, osilator frekuensi rendah (fonon), melalui kopling nonlinear mengakibatkan energi vibrasi amida-I dapat terlokalisasi pada struktur heliks dan terjaga dari dispersi, fenomena ini biasa disebut dengan istilah *self-localization* atau *self-trapping*. Dengan demikian pada kondisi tersebut eksiton dapat dipandang sebagai soliton yang merambat sepanjang rantai molekul dengan tetap menjaga bentuk, energi dan momentumnya [1,2,3,6].

2.1 Hamiltonian Sistem

Operator Hamiltonian model Davydov terdiri atas tiga komponen yaitu Operator Hamiltonian eksiton, fonon dan interaksi eksiton-fonon [1,2,3,6], sebagai berikut:

$$\hat{H} = \hat{H}_{ex} + \hat{H}_{ph} + \hat{H}_{int}. \quad (1)$$

Operator energi eksiton didefinisikan sebagai:

$$\hat{H}_{ex} = \sum_{n,\alpha} \left[E_0 \hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n,\alpha} - \left(J_{n+1} \hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n+1,\alpha} + J_{n-1} \hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n-1,\alpha} \right) + L \left(\hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n,\alpha+1} + \hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n,\alpha-1} \right) \right], \quad (2)$$

dimana indeks n menunjukkan grup peptida atau asam amino ke- n dalam satu kanal protein, sedangkan indeks α menunjukkan kanal tertentu. \hat{B}_{na}^\dagger dan \hat{B}_{na} adalah operator kreasi dan anihilasi boson untuk osilator amida-I. E_0 adalah energi eksiton, $-J_n$ adalah kopling dipol-dipol antar unit terdekat n dengan $n-1$ dalam satu kanal, dan L menyatakan kopling dipole antar unit terdekat pada kanal yang berbeda. $\hat{B}_{na}^\dagger \hat{B}_{na}$ merupakan operator jumlah (*number operator*) yang akan menghitung jumlah eksitasi pada setiap molekul, $\hat{B}_{na}^\dagger \hat{B}_{n\pm 1,\alpha}$ menyatakan transfer eksiton dari molekul peptida ke- n ke $n\pm 1$ dan $\hat{B}_{na}^\dagger \hat{B}_{n,\alpha\pm 1}$ menyatakan transfer eksiton

dari molekul peptide pada kanal α ke molekul pada kanal $\alpha \pm 1$. Sementara itu, Operator energi fonon dinyatakan sebagai:

$$H_{ph} = \frac{1}{2} \sum_{n,\alpha} \left[\frac{\hat{p}_{n,\alpha}^2}{M} + w(\hat{u}_{n,\alpha} - \hat{u}_{n-1,\alpha})^2 \right] \quad (3)$$

dengan $\hat{p}_{n\alpha}$ dan $\hat{u}_{n\alpha}$ masing-masing menunjukkan operator momentum dan posisi asam amino, M adalah massa asam amino dan w adalah konstanta pegas ikatan hidrogen.

Terakhir, operator interaksi eksiton-fonon dinyatakan sebagai

$$H_{int} = \sum_{n,\alpha} \chi (\hat{u}_{n+1,\alpha} - \hat{u}_{n-1,\alpha}) \hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n,\alpha}, \quad (4)$$

dimana χ adalah parameter kopling eksiton-fonon, yang menentukan tingkat nonlinearitas.

Dalam representasi kuantisasi kedua operator hamiltonian di atas memiliki bentuk sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \hat{H}_{ex} &= \sum_{n,\alpha} \left[E_0 \hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n,\alpha} - J_{n+1} \hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n+1,\alpha} + J_{n-1} \hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n-1,\alpha} + L(\hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n,\alpha+1} + \hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n,\alpha-1}) \right], \\ \hat{H}_{ph} &= \sum_{\alpha,k} \hbar \omega_{\alpha,k} \left[\hat{b}_k^\dagger \hat{b}_k + \frac{1}{2} \right], \text{ dan} \\ \hat{H}_{int} &= \sum_{n,\alpha,k} B_{n,\alpha,k} (\hat{b}_k + \hat{b}_k^\dagger) \hat{B}_{n,\alpha}^\dagger \hat{B}_{n,\alpha}, \end{aligned} \quad (7)$$

dengan $B_{n,\alpha,k} = -2i\chi \left(\frac{\hbar}{2Nm\omega_{\alpha,k}} \right)^{1/2} \sin(kl) e^{-iknl}$ dan $\omega_{\alpha,k}$ adalah frekuensi fonon. $\omega_{\alpha,k}$

diperoleh dari relasi dispersi berikut:

$$\omega_{\alpha,k} = 2 \left(\frac{w}{m} \right)^{1/2} |\sin kl/2| \quad (8)$$

dengan l adalah konstanta kisi.

2.2 Fungsi Gelombang *Trial* (Ansatz II)

Permasalahan dalam model Davydov adalah menentukan fungsi gelombang yang menggambarkan keadaan sistem, karena Hamiltonian Davydov tidak cukup sederhana untuk menentukan fungsi gelombangnya secara eksak. Berdasarkan metode variasi dapat dipilih

sembarang fungsi gelombang yang representatif. Metode Variasi berangkat dari kenyataan bahwa energi rata-rata sebuah sistem merupakan harga ekspektasi dari Hamiltonian pada sistem yang direpresentasikan oleh sembarang fungsi gelombang selalu lebih besar atau sama dengan energi keadaan-dasar sistem.

Fungsi gelombang ansatz yang dipilih untuk model Davydov merupakan hasil perkalian dari dua fungsi gelombang yaitu fungsi gelombang eksiton dan fungsi gelombang fonon [1,2,3,6],

$$|D_2\rangle = |\psi\rangle_{ex} |\phi\rangle_p \quad (9)$$

$$|D_2\rangle = \sum_{n,\alpha} a_n(t) \hat{B}_{n\alpha}^\dagger |0\rangle_e \hat{U}_\alpha |0\rangle_p \quad (10)$$

$$U_\alpha |0\rangle_p = \exp \left[\sum_{\alpha,k} \left(b_{\alpha k}(t) \hat{b}_{\alpha k}^\dagger - b_{\alpha k}^*(t) \hat{b}_{\alpha k} \right) \right] |0\rangle_p$$

dimana $|a(t)|^2$ dan $|b(t)|^2$ masing-masing menyatakan peluang ditemukannya eksiton dan fonon, sedangkan U adalah operator transformasi uniter yang mentransformasi keadaan dasar atau vakum $|0\rangle_p$ ke keadaan quasi-klasik atau keadaan koheren $|b\rangle_p$ [1,7].

2.3 Persamaan Gerak Model Davydov

Persamaan gerak model Davydov diperoleh dengan menggunakan persamaan Euler-Lagrange berikut:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\phi}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial \phi_j} = 0 \quad (11)$$

dengan L adalah Lagrangian dari sistem

$$L = \left\langle \psi \left| \frac{i\hbar}{2} \frac{\partial}{\partial t} \right| \psi \right\rangle - \langle \psi | H | \psi \rangle = \langle L_t \rangle - \langle H \rangle \quad (12)$$

Persamaan di atas digunakan dengan asumsi fungsi gelombang yang dipilih memenuhi persamaan Schrodinger.

Dengan mensubstitusikan persamaan (7) dan (10) ke dalam (12) dan (11) dan dengan mengembalikan ke dalam ruang nyata diperoleh dua persamaan terdangeng yang terdiri atas dinamika eksiton dan dinamika kisi protein (lattice) seperti tampak pada persamaan (20) berikut:

$$i\hbar \dot{a}_{n,\alpha}(t) = \left(E_0 + \sum_q \frac{1}{2} \hbar \omega_q - \sum_n \chi \beta_n \left(|a_{n+1,\alpha}|^2 - |a_{n-1,\alpha}|^2 \right) \right) a_{n,\alpha}(t) - \left(J_{n+1} a_{n+1,\alpha}(t) + J_{n-1} a_{n-1,\alpha}(t) \right) - L \left(a_{n,\alpha+1}(t) + a_{n,\alpha-1}(t) \right) + \chi (\beta_{n+1} - \beta_{n-1}) a_n(t) \quad (20)$$

$$m \ddot{\beta}_{n,\alpha} = w (\beta_{n+1,\alpha} - 2\beta_{n,\alpha} + \beta_{n-1,\alpha}) + \chi \left(|a_{n+1,\alpha}|^2 - |a_{n-1,\alpha}|^2 \right)$$

Untuk menyederhanakan persamaan gerak dengan tanpa mengubah dinamika sistem dilakukan transformasi tera dengan mengambil

$$a_n = \phi_n \exp \left(-i \left[E_0 + W_0 + \sum_{n'} \chi \beta_{n'} \left(|a_{n'+1,\alpha}|^2 - |a_{n'-1,\alpha}|^2 \right) \right] t \right), \text{ maka persamaan (20) menjadi:}$$

$$i\hbar \dot{\phi}_n(t) = - \left(J_{n+1} \phi_{n+1,\alpha}(t) + J_{n-1} \phi_{n-1,\alpha}(t) \right) + L \left(\phi_{n,\alpha+1}(t) + \phi_{n,\alpha-1}(t) \right) + \chi (\beta_{n+1} - \beta_{n-1}) \phi_n(t) \quad (21)$$

$$m \ddot{\beta}_{n,\alpha} = w (\beta_{n+1,\alpha} - 2\beta_{n,\alpha} + \beta_{n-1,\alpha}) + \chi \left(|\phi_{n+1,\alpha}|^2 - |\phi_{n-1,\alpha}|^2 \right)$$

3 DINAMIKA SOLITON DAVYDOV (SIMULASI NUMERIK)

3.1 Metode Numerik dan Parameter Fisis Protein Alpha Heliks

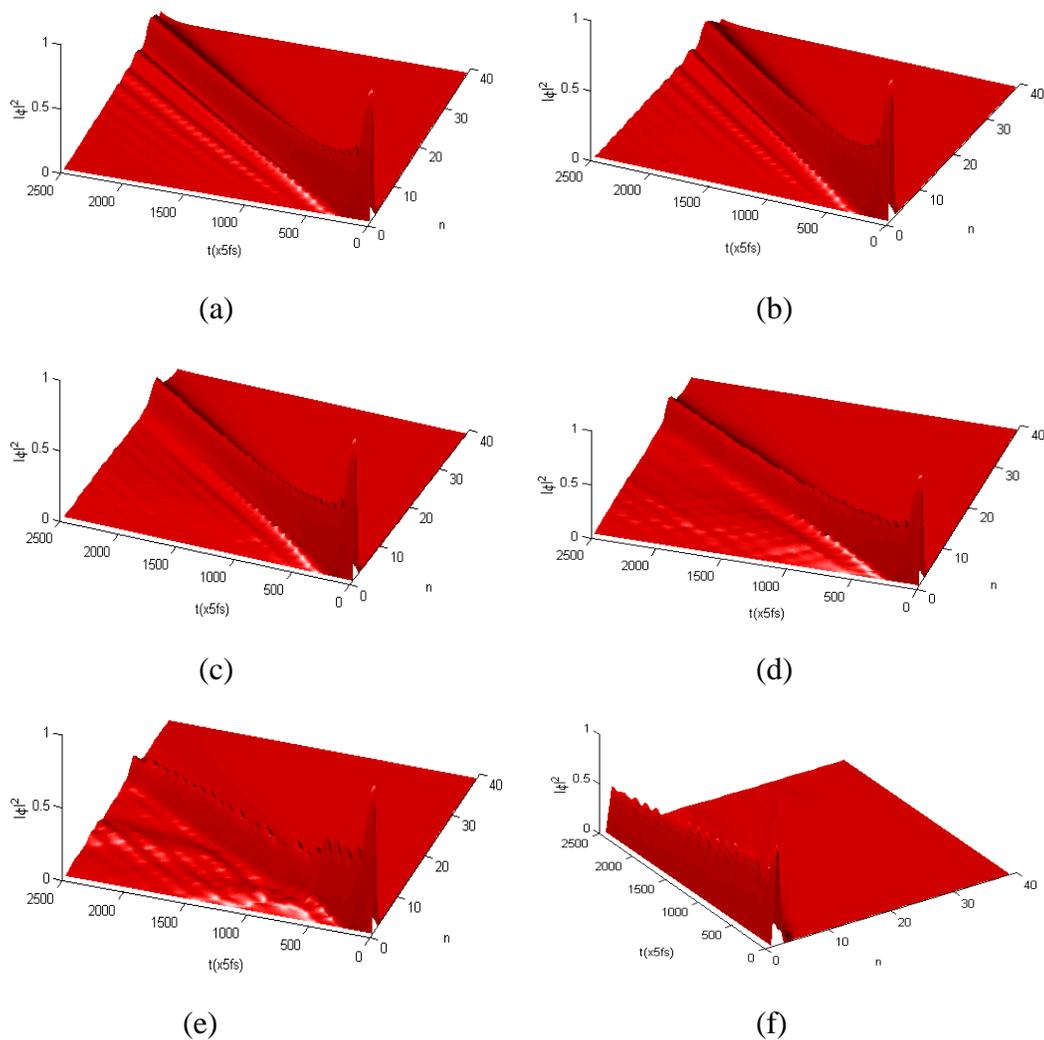
Dinamika soliton Davydov dievaluasi secara numerik menggunakan metode Runge-Kutta orde ke-4, dengan nilai parameter-parameter fisis protein disajikan pada tabel berikut:

Tabel 1 Parameter-parameter fisis Protein Alpha Heliks

Parameter	Description	Value	Unit
W	Spring constant of Hidrogen bond	13	N/m
M	Mass of amino acid	5.7×10^{-25}	Kg
J	Dipole coupling between site in a channel	1.55×10^{-22}	J
χ	Exciton-phonon coupling	35-62	pN
l	Lattice Constant	4.5×10^{-10}	m
L	Dipole coupling between site inter channel	2.46×10^{-22}	J

3.2 Dinamika Soliton Terhadap Variasi Kopling Eksiton-Fonon (χ)

Dinamika soliton ditinjau dengan melakukan variasi terhadap besar nilai kopling eksiton-fonon. Kopling eksiton-fonon menyatakan gaya interaksi antara eksiton dan fonon yang memungkinkan adanya transmisi energy antara eksiton ke fonon dan sebaliknya. Ada tiga dinamika yang teramati dari hasil simulasi yaitu gelombang terdispersi, gelombang soliton berjalan, dan gelombang soliton terlokalisasi. Simulasi untuk berbagai rentang χ disajikan pada gambar berikut:



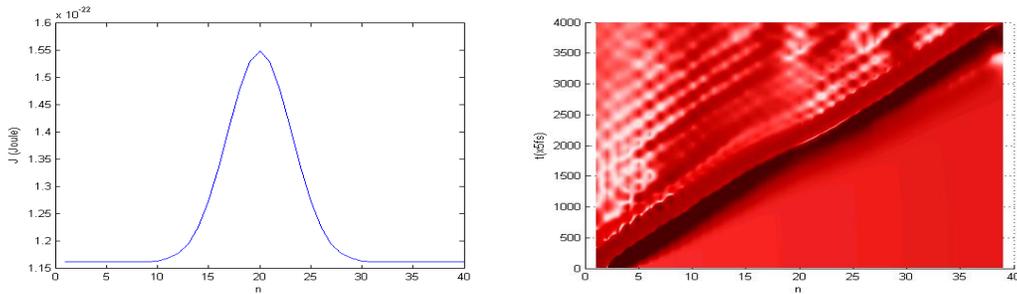
Gambar 2 Dinamika soliton untuk berbagai variasi kekuatan kopling eksiton-fonon.

(a) $\chi=20\text{pN}$, (b) $\chi=30\text{pN}$, (c) $\chi=40\text{pN}$, (d) $\chi=45\text{pN}$, (e) $\chi=60\text{pN}$, (f) $\chi=150\text{pN}$.

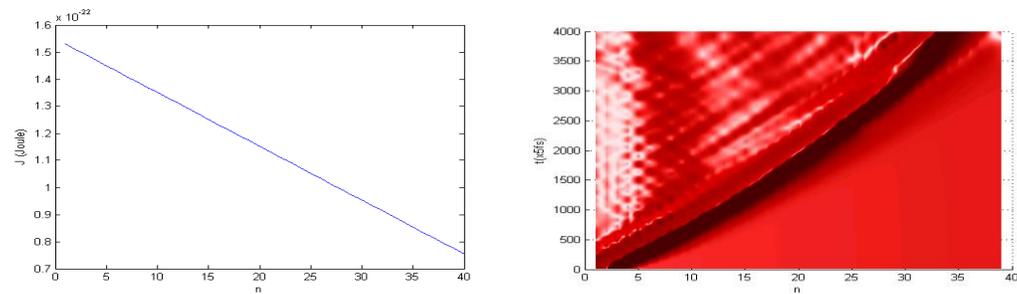
Gelombang terdispersi muncul pada saat nilai χ cukup rendah yaitu antara 0 (*decouple case*) hingga 40pN dan nilai χ cukup tinggi antara 60pN hingga 100pN, gelombang soliton teramati pada saat nilai χ antara 40pN hingga 60pN, sedangkan soliton terjebak muncul pada saat nilai χ sangat besar diatas 100pN. Hal tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2, (a), (b), (e) menunjukkan gelombang terdispersi, (c) dan (d) menunjukkan gelombang soliton berjalan, sedangkan (f) menunjukkan gelombang soliton terlokalisasi. Gelombang soliton berjalan merupakan salah satu mekanisme yang paling mungkin terjadi pada protein dalam proses transfer energy dimana diketahui bahwa efisiensi transmisi energy pada protein sangat tinggi. Sedangkan gelombang soliton terlokalisasi kemungkinan menunjukkan mekanisme penyimpanan energy pada protein.

3.2 Dinamika Soliton Terhadap Variasi Kopling Dipol-Dipol (J)

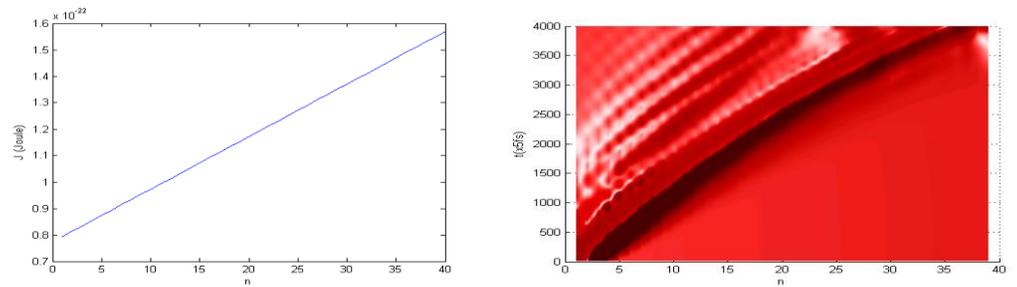
Dinamika soliton Davydov berikutnya ditinjau dari variasi kopling dipol-dipol (J). Variasi kopling dipol-dipol terkait dengan variasi struktur fisik protein yang merupakan kombinasi dari sekurang-kurangnya 22 asam amino essential yang masing-masing berbeda struktur kimia pada gugus R-nya. Dari hasil simulasi terlihat bahwa energy dipol-dipol mempengaruhi kecepatan rambat soliton Davydov pada rantai protein. Kecepatan rambat soliton berbanding lurus dengan besar kopling dipol-dipol (J). Pada Gambar. (a) dengan variasi kopling dipol-dipol dibuat berbentuk kurva Gaussian, dihasilkan gelombang soliton yang mengalami pembelokan sesaat (atau dalam hal ini terjadi perubahan kecepatan), dengan kecepatan maksimum terjadi pada $n=20$ tepat pada puncak kurva Gaussian J. Pada gambar (b dan c) variasi kopling dipol-dipol berbentuk garis lurus dengan gradien positif dan negative, dihasilkan gelombang soliton yang masing-masing mengalami perlambatan dan percepatan, ditandai dengan adanya kelengkungan yang berkebalikan pada profil gelombang soliton.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3 Dinamika soliton dengan variasi kopling dipol-dipol (J). (a) Variasi kopling dipol-dipol (J) berbentuk kurva gaussian, (b) Variasi kopling dipol-dipol (J) berbentuk garis lurus dengan gradien negatif, (c) Variasi kopling dipol-dipol (J) berbentuk garis lurus dengan gradien positif

4 SIMPULAN

Penulis mensinyalir dua fenomena yang terkait dengan proses transfer dan penyimpanan energi pada protein yaitu kasus gelombang soliton berjalan dan gelombang soliton

terlokalisasi. Kedua kasus ini dapat dikontrol dengan mengatur besar parameter kopling baik kopling eksiton-fonon (χ) maupun parameter kopling dipol-dipol (J). Variasi asam amino pada rantai protein dalam hal ini dinyatakan dalam bentuk variasi kopling dipol-dipol (J) mengakibatkan perubahan kecepatan rambat gelombang soliton pada rantai protein, dimana kecepatan rambat berbanding lurus dengan kekuatan kopling dipol-dipol (J).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Davydov, A S. 1982, *Biology and Quantum Mechanics*, Pergamon Press, New York.
- [2] Forner, W. 1997, *Davydov Soliton Dynamics: Application and Calculation of Vibrational Spectra*. J. Mol. Model, 3, 78-116.
- [3] Forner, W. 1991, *Quantum and disorder effects in Davydov soliton theory*. Phys. Rev. A 44, 4.
- [4] Hennig, Dirk. 2002, *Energy transport in α -helical protein models: one-strand versus three-strand systems*. Phys. Rev. B 65, 174302.
- [5] Murray, Robert K, D. K. Granner, P. A. Mayes, V. W. Rodwell. 2003. *Biokimia Harper* (alih bahasa: dr. Andry Hartono). EGC, Jakarta.
- [6] Scott, A C.1992, *Davydov's Soliton*. Phys. Rep. 217.
- [7] Tannoudji, C C, Bernard Diu, Franck Laloe.1977. *Quantum Mechanics*. John Wiley & Sons, France.

KAJIAN SIFAT OPTIK GLUKOSA DARAH

Elvan Yuniarti^{1*}, Siti Ahmiatri² Qolby Sabrina³,

Program Studi Fisika UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta^{1*23}
elvan.yuniarti@gmail.com dan 081280289796

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat optik dari glukosa darah manusia dengan melihat interaksi glukosa darah dengan gelombang infra merah, ultra violet dan cahaya tampak. Penelitian ini merupakan penelitian pendahuluan dalam rangka mencari daerah panjang gelombang yang memiliki persentase transmitansi terbesar. Selain itu hubungan kelinearan kadar konsentrasi glukosa darah dengan persentase transmitansi maksimum juga diteliti. Manfaat dari hasil penelitian sebagai rujukan dalam pembuatan sensor optik pada glukosa darah. Sampel darah manusia yang digunakan memiliki konsentrasi 99mg/dl, 108mg/dl dan 136 mg/dl glukosa di dalam darah. Alat yang digunakan Spektroskopi FTIR Erlin Parker dan Spektroskopi UV-Vis Lamda 25. Hasil yang diperoleh pada spectrum FTIR sample darah berada dalam range bilangan gelombang 4000-450cm⁻¹. Serapan absorbansi maksimum spectrum FTIR pada bilangan gelombang 3413.65cm⁻¹, 3432.03cm⁻¹ dan 3465.17cm⁻¹ mengindikasikan kehadiran gugus fungsi O-H dan vibrasi regangan O-H, sedangkan transmitansi maksimum spectrum FTIR pada bilangan gelombang 1080-870cm⁻¹ mengindikasikan adanya gugus C-O dan C-H tanpa vibrasi. Hubungan kelinearan kadar glukosa darah dengan persentase transmitansi pada daerah infra red di daerah bilangan gelombang 1080-870cm⁻¹ (panjang gelombang 0.095-0.115m) adalah $Y=-0.112X+40.70$ dan $R^2=0.997$. Pada hasil spektroskopi UV-Vis sinar yang mengalami absorbansi maksimum adalah *visible* (warna biru) pada range panjang gelombang 435-436 nm.

Katakunci: FTIR, UV-Vis, Glukosa Darah

1 PENDAHULUAN

Penyakit diabetes merupakan penyakit dengan kandungan glukosa darah berlebih yang memerlukan penanganan serius. Dampak penyakit tersebut dapat menyebabkan komplikasi penyakit yang serius. Seperti; penyakit jantung, stroke, disfungsi ereksi sistem, gagal ginjal kerusakan saraf serta kegoyahan pada gigi dll. Menurut WHO estimasi International Diabetes Federation (IDF) terdapat 177 juta penduduk dunia menderita diabetes melitus 2002 dan akan meningkat 300 juta dalam 2005[1].

Penderita diabetes mellitus di Indonesia kini mencapai 5 juta jiwa atau 5 persen dari jumlah penduduk. Sekitar 2,5 juta jiwa atau 1,3 persen dari 210 juta penduduk Indonesia meninggal akibat diabetes mellitus setiap tahunnya. Diperkirakan penderita diabetes melitus

mengalami peningkatan dari 8,4 juta jiwa penduduk tahun 2000 menjadi 21,3 juta jiwa penduduk tahun 2030. Tingginya angka tersebut menjadikan Indonesia peringkat urutan empat terbanyak penderita diabetes mellitus setelah Amerika Serikat, India dan Cina[2].

Diabetes melitus (DM) terbagi menjadi dua tipe: Tipe I yang tergantung insulin dan Tipe II tidak tergantung insulin. Salah satu cara mendiagnosis penyakit DM yaitu dengan mengukur kadar glukosa dalam darah pada kondisi sewaktu-waktu dan pada saat sedang berpuasa. Darah yang diambil dari plasma vena pada keadaan sewaktu-waktu memiliki tiga kategori. Dikatakan bukan DM untuk kadar glukosa kurang dari 110 mg/dl, untuk 110 sampai 199 mg/dl dikatakan belum tentu DM sedangkan diatas 200 mg/dl dikatakan DM.. Untuk darah yang diambil dari pembuluh darah kapiler bukan DM jika kadar glukosa darah kurang dari 90 mg/dl, untuk bukan DM 90 sampai 199 mg/dl. Pengukuran kadar glukosa darah pada waktu berpuasa, darah yang diambil dari pembuluh vena, bukan DM kurang dari 110 mg/dl, kadar glukosa darah dari 110 sampai 125 belum tentu DM, lebih besar dari 126mg/dl merupakan DM. Pengambilan darah di pembuluh kapiler memiliki kategori kurang dari 90 mg/dl bukan DM, antara 90 sampai 109 mg/dl belum tentu DM dan lebih besar dari 110 mg/dl merupakan DM [3].

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat optik dari glukosa darah manusia dengan melihat interaksi glukosa darah dengan gelombang infra merah, ultra violet dan cahaya tampak. Penelitian ini merupakan penelitian pendahuluan dalam rangka mencari daerah panjang gelombang yang memiliki persentase transmitansi terbesar. Selain itu hubungan kelinearan kadar konsentrasi glukosa darah dengan persentase transmitansi maksimum juga diteliti. Manfaat dari hasil penelitian sebagai rujukan dalam pembuatan sensor optik pada glukosa darah.

2 METODE PENELITIAN

Metode penelitian berupa percobaan secara kualitatif dan kuantitatif. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah darah manusia untuk kadar glukosa dalam darah yang berbeda yaitu 99mg/dl, 108mg/dl, dan 136mg/dl. Alat yang digunakan untuk uji karakterisasi berupa spektrofotometer FTIR *Spectrum One Perkin Elmer*. Sedangkan alat uji karakterisasi lain berupa spektrofotometer UV-Vis *Lamda*.

2.1 Uji Spektroskopi FTIR

Sampel darah yang digunakan pada uji ini berupa padatan yang telah melalui proses *freeze drying*. Setiap sampel dicampur dengan 0.5 bubuk KBr sampai homogen. Setelah itu setiap sampel dicetak dan kemudian diuji dengan spektrofotometer FTIR untuk mengetahui spektrum absorbansi tiap sampel darah.

2.2 Uji Spektroskopi UV-Vis

Sampel darah yang digunakan terlalu pekat dilakukan 160 kali pengenceran fraksi volume setiap 0.05 ml darah. Pengencerannya ditambahkan dengan aquades. Hal tersebut mempengaruhi nilai intensitas absorbansinya. Selanjutnya sampel ditaruh kedalam kuvet dan mulai dibaca oleh spektrofotometer

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

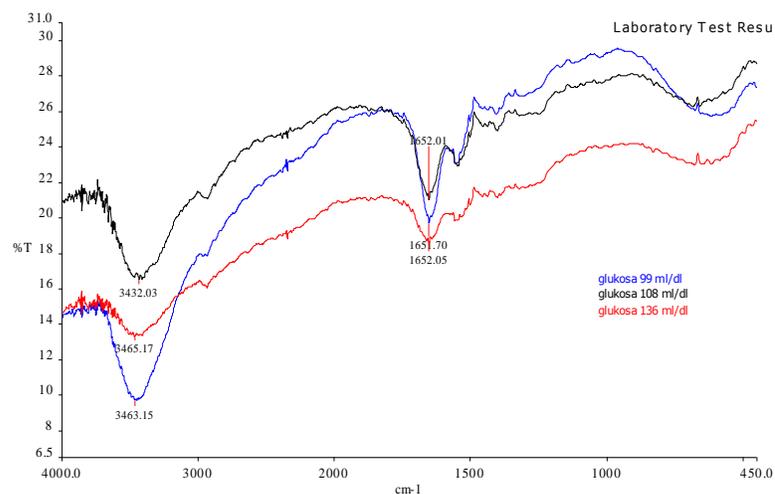
Pengujian yang dilakukan pada ketiga sampel darah sebagai hasil spektroskopi FTIR berada pada daerah bilangan gelombang 4000 sampai 450cm^{-1} . Sedangkan untuk hasil pengujian spektroskopi UV-Vis berada pada panjang gelombang antara 300 sampai 650nm.

3.1 Hasil Uji Spektroskopi FTIR

Terdapat tiga spektrum yang terlihat pada Gambar 1. Setiap spektrum untuk sampel darah yang berbeda memiliki pita absorbansi minimum transmitansi yang maksimum dan pita absorpsi maksimum atau transmitansi minimum. Sampel darah dengan kadar glukosa darah 99mg/dl memiliki pita absorbansi maksimum (pita transmitansi minimum) yaitu pada bilangan gelombang 3463.15cm^{-1} dengan panjang gelombang 0.0289m. Pita absorbansi maksimum juga tampak pada spektrum kadar glukosa darah 108mg/dl yaitu tampak pada bilangan 3432.03cm^{-1} . Pita tersebut berada pada panjang gelombang 0.0291 m. Sampel darah dengan kadar glukosa 136mg/dl, pita absorbansi maksimum pada bilangan 3465.17cm^{-1} dengan panjang gelombang sebesar 0.0288m. Pada pita absorbansi maksimum disekitar bilangan gelombang 3463.15, 3432.03, 3465.17cm^{-1} menunjukkan kehadiran gugus fungsi O-H (Asam Karboksilat).

Pita absorpsi maksimum juga tampak untuk kadar glukosa 99mg/dl, 108mg/dl, 136mg/dl untuk daerah bilangan gelombang 1652.10, 1651.70, 1652.0 cm^{-1} dengan panjang gelombang yang sama sebesar 0.0605m. Daerah pada panjang bilangan tersebut menunjukkan ikatan rangkap karbon C=C. Pada spektrum kadar glukosa darah 99mg/dl, 108 mg/dl, 136mg/dl memiliki persentase transmitansi maksimum untuk daerah 1080 cm^{-1} dengan panjang gelombang 0.092 m yang menunjukkan adanya C-O dan daerah bilangan gelombang 870 cm^{-1} pada panjang gelombang 0.115m menunjukkan gugus fungsi C-H [4].

Dari hasil pengujian spektroskopi absorpsi maksimum berada untuk panjang gelombang 0.029m dan pada panjang gelombang 0.0605m menunjukkan pada gelombang cahaya infra merah yang dilewatkan kedalam glukosa darah lebih banyak diserap dari pada diteruskan. Sedangkan untuk pita transmitansi maksimum untuk panjang gelombang 0.0605m berarti gelombang infra merah ketika dilewatkan pada darah paling banyak cahaya infra merah yang dilewatkan.



Bilangan Gelombang

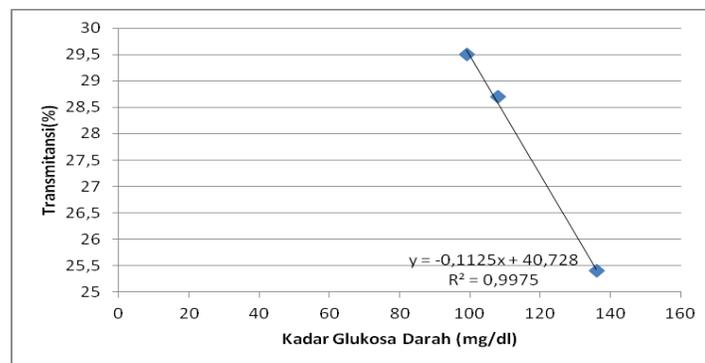
Gambar 1 Spektra Glukosa Darah Hasil Uji FTIR

Tabel 1 dibawah ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar glukosa darah memiliki nilai persentase transmitansi maksimum semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya infra merah yang dilewatkan oleh darah akan menurun bersamaan dengan peningkatan kadar glukosa darah. Semakin besar Kadar Glukosa dalam darah cahaya yang dilewatkan akan semakin banyak terserap oleh senyawa dalam darah. Hubungan kelinearan

kadar glukosa darah dengan persentase transmitansi memenuhi persamaan $Y=-0.112X+40.70$ dan $R^2=0.997$. Setiap sampel memiliki spektrum yang masing-masing memiliki nilai transmitansi maksimum (absorbansi minimum) dan memiliki nilai transmitansi minimum (absorbansi maksimum).

Tabel 1 Hasil Uji FTIR

Kadar Glukosa Darah (mg/dl)	Transmitansi maksimum (%)	Absorbansi maksimum (%)
99	29.5	0.76
108	28.7	0.68
136	25.4	0.68

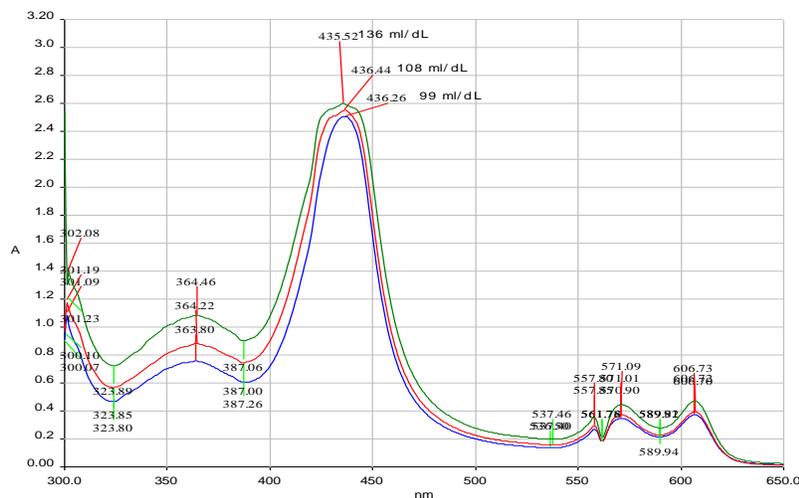


Gambar 2 Grafik Hubungan kadar Glukosa dalam Darah dengan Persentase Transmitansi

3.2 Hasil Uji UV-Vis

Hasil pengujian sampel oleh spektroskopi UV-Vis terlihat pada Gambar 3 Nilai absorbansi maksimum (transmitansi minimum) terjadi pada berkas sinar jenis sinar tampak (*visible*) pada *range* panjang gelombang 435 nm-436 nm. Sinar ultraviolet mempunyai range panjang gelombang antara 200-400 nm, sedangkan sinar tampak mempunyai range panjang gelombang 400-750 nm [5]. Warna sinar tampak dapat dihubungkan dengan panjang gelombangnya. Puncak pita absorpsi lain disekitar panjang gelombang 364.46, 364.22,

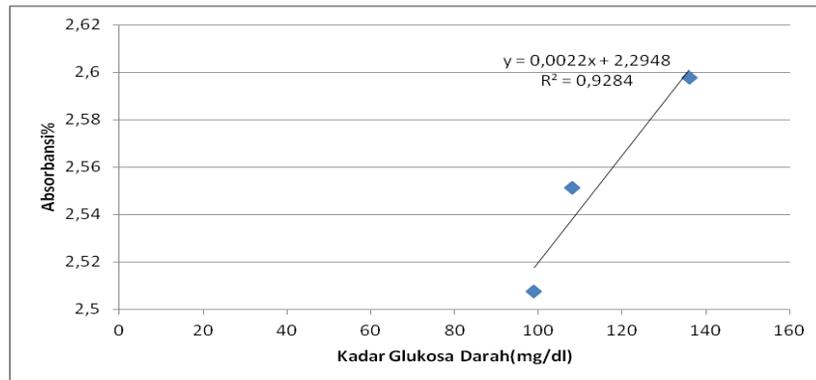
364.46 nm untuk spectrum pada kadar glukosa dalam darah 99, 108, 136 mg/dl.. Sedangkan cahaya tampak yang paling banyak diteruskan atau sedikit diserap oleh senyawa dalam darah terdapat pada panjang gelombang 500-550 nm dan 590nm (bilangan gelombang . Hasil yang diperoleh ketika cahaya ultra violet dan cahaya tampak dilewatkan ke dalam darah semakin tinggi konsentrasi darah maka semakin banyak pula cahaya UV Vis diserap ini terjadi pada panjang gelombang 364, 435, 557, 571, 606 nm. Untuk panjang gelombang 436.6, 436.4, 435.52 pada kadar glukosa 99, 108, 136 mg/dl memiliki nilai absorbansi maksimum yaitu 2.507, 2.551, 2.59. Hubungan kelinearan antara kadar glukosa darah dengan persentasi absorbansi memenuhi persamaan dan $Y=0.0022x+2.2948$ dan $R^2=0.9284$.



Gambar 3. Spektra Hasil Uji Spektroskopi UV-Vis Glukosa Darah

Tabel 2. Hasil Uji Spektroskopi UV-Vis

Kadar Glukosa Darah (mg/dl)	Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi maksimum (%)
99	436.6	2.5074
108	436.4	2.5511
136	435.5	2.5975



Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar Glukosa Darah dengan Persentase Absorbansi

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil yang diperoleh pada spektrum FTIR sample darah berada dalam range bilangan gelombang 4000-450 cm^{-1} . Serapan absorbansi maksimum spektrum FTIR pada bilangan gelombang 3413.65 cm^{-1} , 3432.03 cm^{-1} dan 3465.17 cm^{-1} mengindikasikan kehadiran gugus fungsi O-H dan vibrasi regangan O-H, sedangkan transmitansi maksimum spektrum FTIR pada bilangan gelombang 1080-870 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus C-O dan C-H tanpa vibrasi. Hubungan kelinearan kadar glukosa darah dengan persentase transmitansi pada daerah infra red di daerah bilangan gelombang 1080-870 cm^{-1} (panjang gelombang 0.095-0.115 μm) adalah $Y = -0.112X + 40.70$ dan $R^2 = 0.997$. Pada hasil spektroskopi UV-Vis sinar yang mengalami absorbansi maksimum adalah *visible* (warna biru) pada jangkauan panjang gelombang 435-436 nm. Adapun hubungan kelinearan sebesar $Y = 0.0022x + 2.2948$ dan $R^2 = 0.9284$.

5.2 Saran

Penelitian lebih lanjut sebaiknya sampel memiliki variasi glukosa darah lebih banyak. Dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk jangkauan daerah bilangan gelombang yang lebih lebar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N.N. 2009. *Diabetes Melitus*. Informasi Produk Terapeutik, Vol 19, No.1.
- [2] Habibah Nur. 2010. *Pelatihan Membaca Alquran untuk Menurunkan Tingkat Stress pada Penderita Diabetes Mellitus Tipe Dua Pemula*. Tesis Program Magister Psikolog, Fakultas Psikologi dan Ilmu Sosial Budaya, UII, Yogyakarta.
- [3] N.N. 2004. Jurnal Diabetes Mellitus media Litbang kesehatan, volume 16, no.3.
- [4] Tuchin V. 2009. *Handbook of optical sensing of glucose in biological fluids and tissue*. Taylor & Francis/CRC.
- [5] N Kanagathara, dkk,. 2011. *FTIR And UV-Visible Spektal Study on Normal Blood Samples*. IJBS, Vol 1, issue 2, Chennai.

SIMULASI AWAL PERANCANGAN SEL SURYA *DOUBLE JUNCTION* GAAS/GE

Tony Sumaryada¹, Heriyanto Syafutra¹, Robi Sobirin¹, Ajeng Widya Roslia¹

¹Bagian Fisika Teori, Departemen Fisika IPB
Jalan Meranti Wing S Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Indonesia
Corresponding email : tsumaryada@ipb.ac.id

ABSTRAK

Dalam makalah ini ditampilkan hasil simulasi awal dari perancangan sel surya double junction GaAs/Ge menggunakan program PC1D dan MATLAB. Perhitungan koefisien absorpsi, spektrum radiasi matahari serta spektrum transmisi dari lapisan GaAs dilakukan dengan menggunakan program MATLAB. Hasil perhitungan tersebut kemudian digunakan sebagai parameter masukan untuk perancangan sel surya menggunakan program simulasi PC1D. Hasil perhitungan spektrum emisi untuk GaAs menghasilkan nilai radiasi yang diteruskan ke lapisan Ge sebesar 584 W/m^2 . Radiasi matahari yang digunakan di sini menggunakan Standar ASTM E-490 AMO dengan nilai total radiasi matahari sebesar 1180 W/m^2 . Untuk nilai efisiensi daya keluaran dari sel surya *double junction* GaAs/Ge diperoleh efisiensi total sebesar 35.03 %. Hasil ini cukup baik, bila dibandingkan hasil simulasi sel surya multijunction lainnya yang berkisar antara 30 % hingga 42 %.

Katakunci : Sel Surya, GaAs, Ge, *Double junctions*, Semikonduktor, PC1D, MATLAB

1 PENDAHULUAN

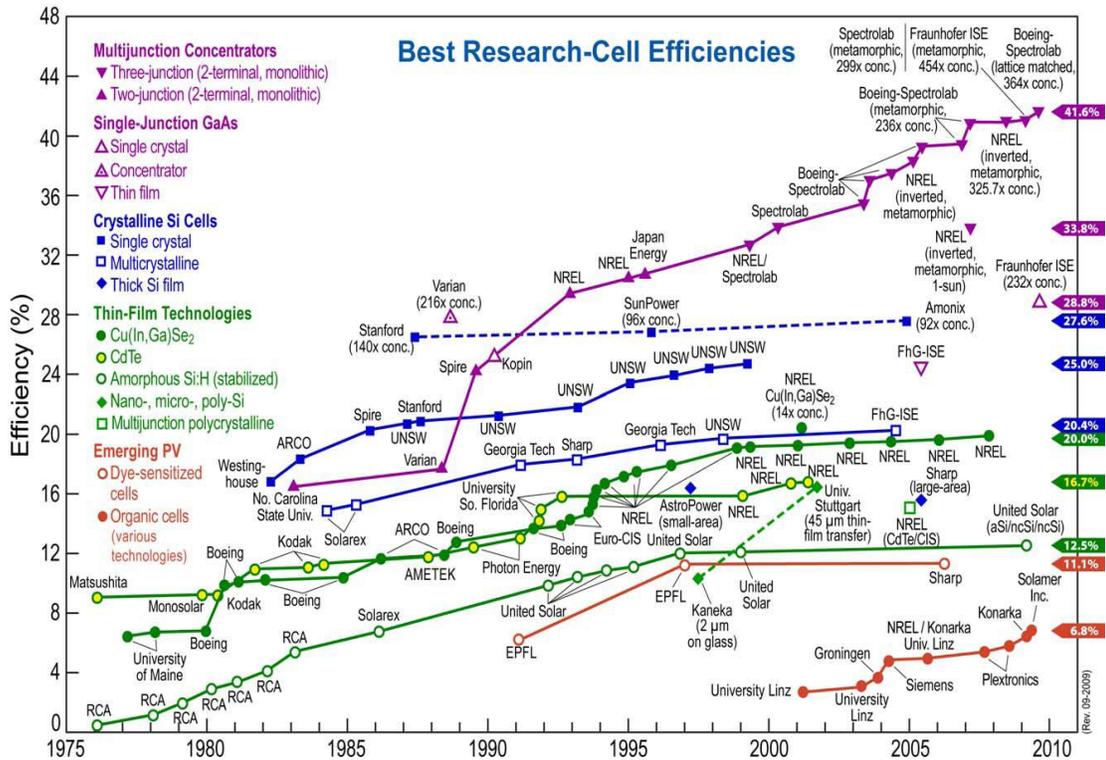
Kebutuhan energi dunia terus bertambah seiring dengan makin bertambahnya populasi manusia di dunia serta meningkatnya tingkat perekonomian di negara-negara berkembang yang memiliki tingkat populasi yang tinggi. Lebih dari 80% kebutuhan energi tersebut masih dipasok oleh bahan bakar fosil atau *fossil fuel* seperti minyak, gas, dan batubara [1].

Sumber energi terbarukan dan berkelanjutan seperti sinar matahari, angin, biomassa, gelombang laut, dan lain-lain dapat menjamin ketersediaan sumber energi dunia sekaligus mengurangi dampak laju kerusakan lingkungan dan perubahan iklim global. Oleh karena itu penelitian dan pengembangan energi terbarukan dan berkelanjutan perlu terus dilakukan dan didukung oleh semua pihak.

Salah satu sumber energi terbarukan adalah matahari yang dapat dipanen energinya menggunakan divais sel surya. Perkembangan industri sel surya mengalami

peningkatan yang sangat drastis hampir 500 kali lipat, dari 46 MW pada tahun 1990 menjadi 23.4 GW pada tahun 2010 [2]. Dengan makin berkembangnya industri sel surya, banyak penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan sel surya dengan nilai efisiensi yang tinggi. Namun tingginya biaya riset dan fabrikasi sel surya berefisiensi tinggi tersebut menjadi kendala bagi para ilmuwan, terutama ilmuwan dari Negara-negara berkembang. Untuk mengurangi biaya operasional sintesis, karakterisasi, dan fabrikasi, maka perlu dilakukan simulasi yang akurat untuk menentukan parameter-parameter awal yang terbaik yang dapat menghasilkan bahan sel surya dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Saat ini telah banyak dikembangkan program-program simulasi sel surya seperti AMPS-1D, MEDICI, dan PC1D. Dalam penelitian ini kita akan menggunakan program PC1D yang sudah dikenal luas untuk perancangan dan simulasi disain material sel surya [3].

Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh R.R. King et al 2009 [4] rekor efisiensi tertinggi yang tercatat adalah sebesar 41,6% untuk sel surya multi junction yang menggunakan konsentrator. Gambar 1. menunjukkan perkembangan penelitian sel surya yang dilakukan sampai tahun 2009.



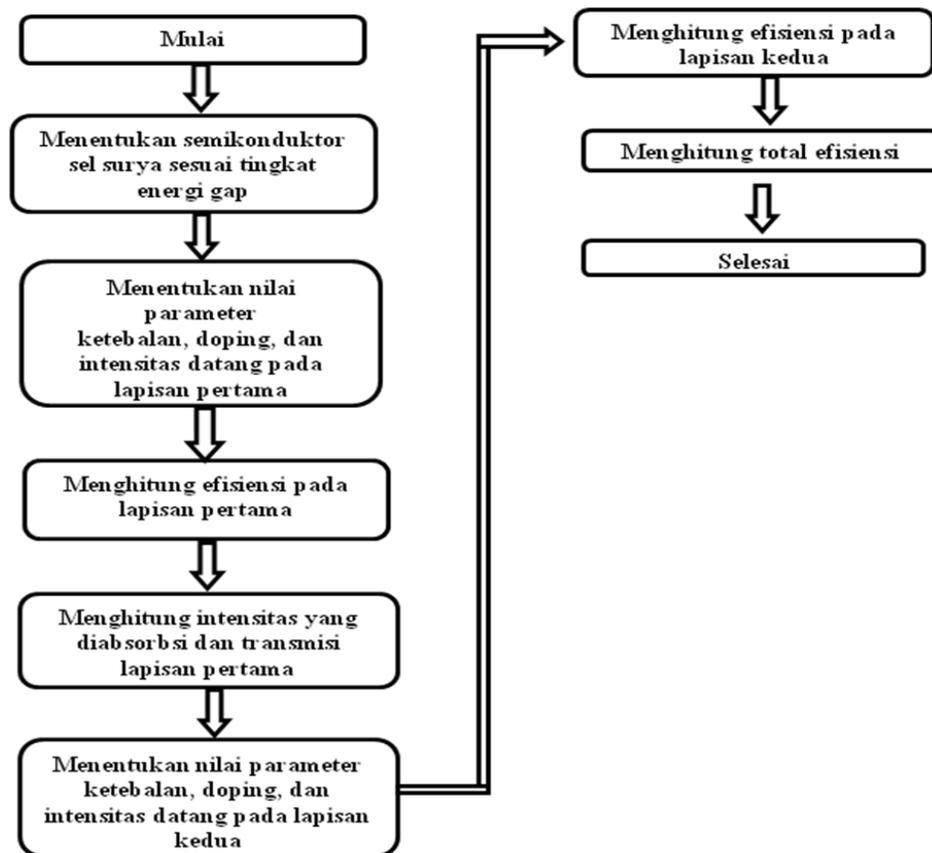
Gambar 1. Perkembangan nilai efisiensi sel surya di dunia hingga tahun 2009` Sumber : R. R. King et al. 2009. *24th European Photovoltaic Solar Energy Conf.* Hamburg, German.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan program simulasi PC1D untuk menghitung efisiensi film tipis double junction GaAs/Ge. PC1D adalah suatu program yang dapat mensimulasikan fenomena transport pada bahan semikonduktor. Program tersebut dibangun dari perhitungan *finite element method* serta digunakan untuk perancangan sel surya berbasis Silikon dan Germanium. Program ini dikembangkan oleh Paul Basore et.al [3,5,6,7] sekitar awal tahun 1990 an.

Data parameter awal untuk material GaAs dan Ge diperoleh dari data base program simulator PC1D sendiri. Untuk menghitung efisiensi total dari film tipis double junction GaAs/Ge dilakukan dengan cara menghitung efisiensi masing-masing lapisan, karena Program simulator PC1D tidak bisa mensimulasikan double junction secara langsung. Diagram alir proses simulasi kedua lapisan double junction tersebut, ditampilkan pada Gambar 2.

Program simulator PC1D memiliki empat bagian yaitu: *Device*, *Region 1 Excitation* dan *Result*. *Device* merupakan bagian dimana kita memasukkan nilai parameter dari sel surya seperti ukuran sel surya, ada tidaknya lapisan anti refleksi, ada tidaknya tekstur permukaan, dan pemilihan model persamaan sel surya (satu dioda, dua dioda, serta ada tidaknya R_{shunt} dan R_{seri}). *Region 1* merupakan bagian dimana kita memasukkan nilai parameter dari material yang digunakan, program simulator PC1D sendiri sudah menyediakan 5 material dasar yaitu (Al_3Ga_7As , GaAs, Ge, InP dan Si). Jika ingin mensimulasikan material lain, pengguna cukup mengganti nilai masukan pada bagian *Region1*. Pada bagian *Excitation* kita memasukkan nilai parameter dari radiasi yang meliputi panjang gelombang dan intensitas cahaya. *Result* adalah bagian yang akan menampilkan hasil dari simulasi yang telah dilakukan. contoh tampilan simulasi pada layar komputer ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Tahapan simulasi mencari efisiensi sel surya double junction GaAs/Ge menggunakan PC1D

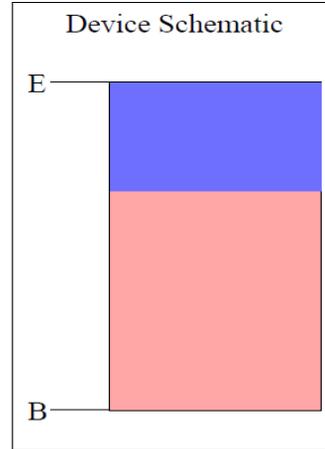
File: C:\Users\tony\Desktop\Riset2012\My Project PC1D\PC1D5\GeTony1.prm
 (Double-click to add a description)

DEVICE
 Device area: 1 cm²
 No surface texturing
 No surface charge
 No Exterior Front Reflectance
 No Exterior Rear Reflectance
 No internal optical reflectance
 Emitter contact enabled
 Base contact enabled
 No internal shunt elements

REGION 1
 Thickness: 6 μm
 Material from ge.mat
 Carrier mobilities from internal model
 Dielectric constant: 16
 Band gap: 0.664 eV
 Intrinsic conc. at 300 K: 2.33×10¹³ cm⁻³
 Refractive index from ge.inr
 Absorption coeff. from ge300.abs
 No free carrier absorption
 N-type background doping: 1×10¹⁴ cm⁻³
 1st front diff.: P-type, 1×10¹⁷ cm⁻³ peak
 No 2nd front diffusion
 No rear diffusion
 Bulk recombination: τ_n = τ_p = 1000 μs
 No Front-surface recombination
 No Rear-surface recombination

EXCITATION
 Excitation modified from one-sun.exc
 Excitation mode: Transient, 16 timesteps
 Temperature: 300 K
 Base circuit: Sweep from -0.8 to 0.8 V
 Collector circuit: Zero
 Primary light source enabled
 Constant intensity: 0.0584 W cm⁻²
 Spectrum from am0.spc
 Secondary light source disabled

RESULTS
 Short-circuit I_b: 0.0285 amps
 Max base power out: 9.038e-3 watts
 Open-circuit V_b: -0.3930 volts



Gambar 3. Tampilan program simulator sel surya PC1D

Untuk menghitung nilai efisiensi sel surya, yang pertama kali kita lakukan adalah menentukan radiasi matahari yang akan digunakan. Spektrum radiasi di permukaan matahari dapat dimodelkan dengan persamaan radiasi benda hitam yang diberikan oleh:

$$I_{\text{matahari}}(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \right) \quad (1)$$

Dimana I_{matahari} = intensitas persatuan panjang gelombang ($\text{W/m}^2/\mu\text{m}$)

h = konstanta plank ($6,63 \times 10^{-34}$ J.s)

c = kelajuan cahaya di ruang hampa (3×10^8 m/s)

k = konstanta boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = suhu (5.700 K)

λ = panjang gelombang (μm)

Ketika sampai pada permukaan bumi besarnya intensitas persatuan panjang gelombang ini akan berkurang sebesar:

$$I_{\text{bumi}} = \left(\frac{r_{\text{matahari}}}{R} \right)^2 I_{\text{matahari}} \quad (2)$$

Dengan r_{bumi} = jari-jari matahari ($6,9 \times 10^8$ m) dan R = jarak matahari ke bumi ($1,5 \times 10^{11}$ m).

Nilai radiasi sesungguhnya yang diterima oleh panel sel surya akan dikurangi lagi oleh seapan radiasi oleh molekul-molekul gas di udara serta sudut rata-rata jatuhnya radiasi matahari pada permukaan bumi. Nilai radiasi total yang diterima di permukaan bumi dimodelkan oleh beberapa model seperti AM0, AM1.5 dan lain-lain. Untuk penelitian ini kami menggunakan standar radiasi ASTM E-490 AM0 yang menggambarkan radiasi di saat matahari tepat berada di puncak (siang hari di katulistiwa).

Besarnya intensitas I_o yang jatuh pada lapisan pertama (lapisan GaAs) dihitung dengan menggunakan standard radiasi ASTM E-490 AM0, sedangkan besarnya intensitas yang diteruskan lapisan pertama (GaAs) dihitung menggunakan persamaan (1) :

$$I_t(\lambda) = I_o(\lambda) e^{-\alpha(\lambda)x} \quad (3)$$

Dimana: I_t = intensitas yang ditransmisikan sebagai fungsi panjang gelombang ($\text{W/m}^2/\mu\text{m}$)

I_o = intensitas awal fungsi panjang gelombang ($\text{W/m}^2/\mu\text{m}$)

α = koefisien absorbansi bahan (1/cm)

x = ketebalan lapisan (μm)

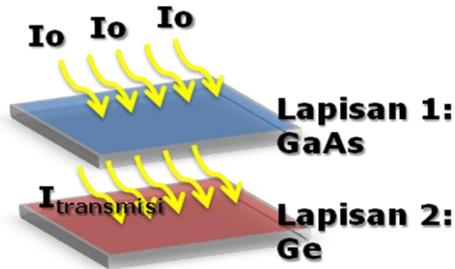
Untuk menghitung radiasi yang diteruskan ke lapisan ke dua $I(\lambda)$, maka perlu dihitung terlebih dahulu nilai koefisien absorpsi dari lapisan pertama, menggunakan persamaan (4)

$$\alpha(\lambda) = \alpha_0 \frac{\sqrt{E - E_G}}{E_G} \quad (4)$$

Sedangkan nilai efisiensi dari tiap lapisan dihitung menggunakan persamaan (5)

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \quad (5)$$

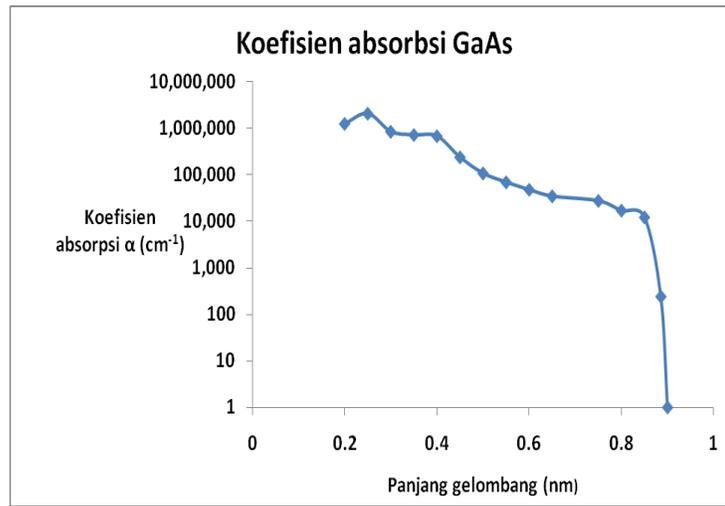
Ilustrasi proses absorpsi dan transmisi radiasi pada kedua lapisan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses absorpsi dan transmisi pada sel surya double junction GaAs/Ge

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

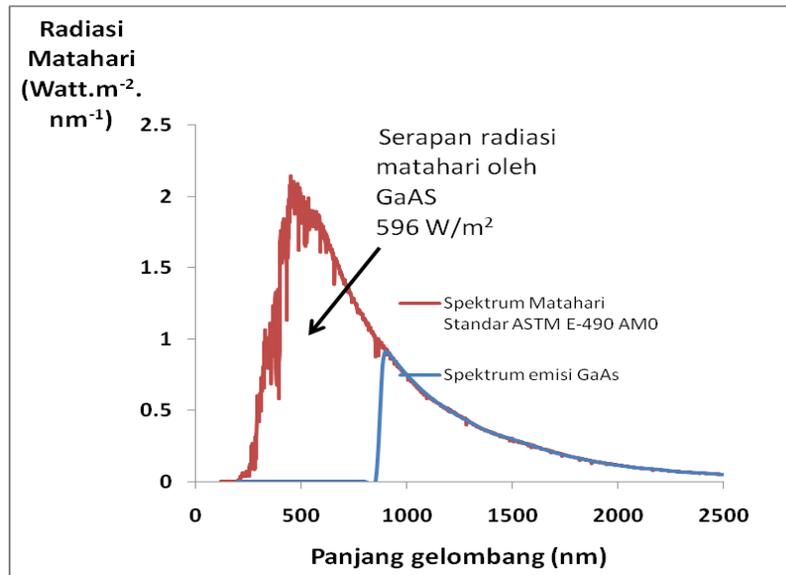
Dari hasil perhitungan koefisien absorpsi seperti pada persamaan (4) diperoleh nilai koefisien absorpsi GaAs yang cenderung menurun pada rentang panjang gelombang 200 hingga 800 nm, sebelum akhirnya menjadi nol atau hilang sepenuhnya pada panjang gelombang 886 nm. Ini menunjukkan bahwa material GaAs akan bekerja aktif menyerap radiasi matahari pada rentang tersebut. Sedangkan untuk panjang gelombang diatas 886 nm, material GaAs tidak lagi responsif dan bersifat transparan, melewatkan atau mentransmisikan radiasi matahari ke lapisan Germanium di bawahnya. Hal ini ditunjukkan oleh Gambar 5. Dibawah ini.



Gambar 5. Koefisien absorpsi GaAs (skala logaritmik) sebagai fungsi panjang gelombang.

Hasil perhitungan nilai radiasi matahari yang dilewatkan oleh GaAs menggunakan persamaan (3) dibandingkan dengan standar radiasi matahari ASTM E-490 AM0 ditampilkan pada Gambar 6. Intensitas radiasi total dari matahari pada permukaan bumi sesuai persamaan (2) diperoleh sebesar 1180 Watt/m^2 sedangkan radiasi sinar matahari yang diteruskan oleh GaAs sesuai persamaan (3) sebesar 584 Watt/m^2 . Dari sini dapat diketahui nilai radiasi matahari yang diserap oleh GaAs sebesar $1180 \text{ Watt/m}^2 - 584 \text{ Watt/m}^2 = 596 \text{ Watt/m}^2$. Nilai 584 Watt/m^2 ini kemudian kita gunakan sebagai parameter masukan untuk simulasi lapisan ke dua yaitu Germanium.

Simulasi PC1D akan menghitung secara otomatis daya keluaran maksimum atau P_m dari lapisan yang disimulasikan. PC1D juga akan menampilkan tegangan rangkaian terbuka dan arus rangkaian pendek dari bahan tersebut. Untuk menghitung nilai efisiensi total dari material *double junction* kita cukup menjumlah jumlah daya keluaran dari masing-masing lapisan kemudian dibagi dengan daya yang berasal dari radiasi matahari, kemudian dikalikan 100%. Tabel 1. di bawah ini menyatakan hasil-hasil perhitungan yang kami peroleh.



Gambar 6. Spektrum Emisi Matahari dan lapisan GaAs

Tabel 1. Hasil perhitungan daya intensitas dan efisiensi tiap-tiap lapisan sel surya dan nilai efisiensi total dari sel surya double junction GaAs/Ge.

Material Sel surya	Intensitas radiasi yang masuk (Watt/cm ²)	Intensitas radiasi maksimum I_m hasil perhitungan PC1D (Watt/cm ²)	Nilai Efisiensi lapisan
GaAs	0.1180	0.0323	27.37 %
Ge	0.0584	0.009038	15.48 %
Nilai total		0.041338	$\eta_{total} = 35.03 \%$

Untuk luas penampang 1.0 cm² seperti yang kita gunakan dalam program PC1D, maka nilai efisiensi total dapat dihitung dengan cara :

$$\text{Efisiensi total} = ((0.0323 \text{ W} + 0.009038) / 0.1180) \times 100\% = 35.03 \%$$

Hasil ini cukup baik bila dibandingkan hasil penelitian material multijunction lainnya yang dilakukan peneliti lain [8,9]. Kontribusi terbesar dari nilai efisiensi ini diperoleh dari lapisan GaAs yang memiliki nilai efisiensi tunggal sebesar 27.37 %. Hasil tersebut masih dapat ditingkatkan dengan melakukan texturing baik permukaan atas maupun bawah dari lapisan sel surya heterojunction tersebut. Penggunaan model konsentrator dalam penyusunan sel surya juga dapat meningkatkan intensitas spektrum matahari yang masuk yang pada akhirnya meningkatkan pula nilai efisiensi total. Penambahan *junction* juga akan memperbanyak serapan spektrum matahari dan mengurangi daya yang terbuang.

4 KESIMPULAN

Telah dilakukan perancangan awal material sel surya double junction GaAs/Ge menggunakan program simulasi PC1D. Hasil yang diperoleh cukup baik yaitu efisiensi total sebesar 35.03 %. Sebagai perbandingan efisiensi sel surya tertinggi saat ini diperoleh dari sel surya triple junction *GaInP/GaInAs/Ge* yang

memiliki efisiensi total 41.6 %. Di masa depan akan dilakukan dipelajari efek penggunaan konsentrator serta *surface texturing* untuk meningkatkan efisiensi total dari sel surya double junction ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Robert L Evans, 2007. " *Fueling our future, An Introduction to Sustainable Energy*". New York : Cambridge University Press.
- [2] A. Jager-Waldau, 2011. " *Quo Vadis Photovoltaics*". EPJ Photovoltaics **2**, 20801 (2011)
- [3] P.A. Basore, D.T. Rover, and A.W. Smith, 1988. " *Enhanced Numerical Solar Cell Modelling*". 20th IEEE PVSC, Sep 1988, pp.389-396.
- [4] R. R. King et al., 2009. " *24th European Photovoltaic Solar Energy Conf.* Hamburg, Germany, Sep 21-25.
- [5] P.A. Basore, 1991. " *PC-1D Version 3: Improved Speed and Convergence*". 22nd IEEE PVSC, Oct 1991, pp.299-302.
- [6] P.A. Basore and D.A. Clugston, 1996. " *PC1D Version 4 for Windows: From Analysis to Design*". 25th IEEE PVSC, May 1996, pp 377-381.
- [7] D. A. Clugston and P.A. Basore, " *Modelling Free carrier Absorption in Solar Cells*", Progress in Photovoltaics, **5**, 229-236
- [8] R. R. King, D. C. Law, K. M. Edmondson, et al., 2007. " *40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ge multijunction solar cells,*" Applied Physics Letters, vol. 90, no. 18, Article ID 183516, 3 pages.
- [9] Allen Barnett et al, 2007. " *Milestones toward 50% efficient solar cell modules*". 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3-7 September 2007, Milan, Italy

PENGARUH *SURFACE TEXTURING* GERMANIUM (GE) DAN SILIKON (SI) PADA DISAIN SEL SURYA MENGGUNAKAN PROGRAM PCID

Ajeng Widya Roslia¹, Tony Sumaryada¹

¹Bagian Fisika Teori, Departemen Fisika IPB
Jalan Meranti Wing S Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Indonesia
Corresponding email : tsumaryada@ipb.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan *surface texturing* pada disain sel surya ternyata dapat meningkatkan efisiensi sel surya dalam menghasilkan arus listrik tanpa mengubah dan menambahkan banyak parameter dari karakteristik bahan Germanium dan Silikon itu sendiri. Telah dilakukan percobaan menggunakan program PCID dengan nilai dopping yang tepat untuk masing-masing bahan, dan didapatkan nilai efisiensi yang meningkat saat diberikan *surface texturing* pada permukaan lapisan sel surya. Pada germanium didapatkan nilai efisiensi yang mencapai 17.36% pada ketebalan lapisan 3 mikrometer dan sudut 70⁰. Sedangkan pada silikon didapatkan nilai efisiensi mencapai 11.72% pada ketebalan lapisan 10 mikrometer dan sudut 40⁰

Keywords : Disain sel surya, efisiensi, *surface texturing*, Germanium, Silicon, PCID

1 PENDAHULUAN

Sumber energi terbarukan dan berkelanjutan seperti sinar matahari, angin, biomassa, gelombang laut, dan lain-lain merupakan harapan dan keharusan bagi kelangsungan hidup umat manusia di masa depan . Sumber-sumber energi tersebut dapat menjamin ketersediaan sumber energi dunia sekaligus mengurangi dampak laju kerusakan lingkungan dan perubahan iklim global. Penelitian yang intensif dan terus menerus untuk menyempurnakan teknologi di bidang energi terbarukan ini adalah mutlak dan perlu dilakukan dan didukung oleh semua pihak.

Energi sinar matahari dimanfaatkan dengan menggunakan panel surya yang terbuat dari material khusus yang dapat menghasilkan arus listrik ketika disinari oleh cahaya matahari. Material yang biasa digunakan dan banyak terdapat di pasaran adalah Silikon. Tingkat efisiensi dari silikon sendiri sebenarnya tidak terlalu tinggi yaitu berkisar dari 7.0 hingga 15 % saja. Namun teknologi pembuatan sel surya

Silikon yang relatif mudah, menjadikan biaya produksinya murah dan memungkinkan produksi panel surya Silikon ini dalam jumlah besar.

Penelitian sel surya saat ini terbagi menjadi dua aliran besar, yaitu penelitian yang bersifat eksperimen (fabrikasi dan karakterisasi) dan penelitian yang bersifat simulasi dan perancangan. Simulasi dilakukan sebagai upaya merancang sel surya dengan melakukan rekayasa baik dari segi parameter intrinsik (*band gap*, *doping concentration* dan lain-lain) maupun parameter ekstrinsik (*texturing*, *concentrator*, *solar spectra*, dan lain-lain). Pada penelitian ini, kami mencoba melakukan perancangan yang sifatnya ekstrinsik yaitu mempelajari pengaruh *surface texturing* terhadap nilai efisiensi dari lapisan sel surya Germanium dan Silikon.

Perancangan yang kami lakukan disini menggunakan program simulasi PC1D yang dikembangkan oleh Basore et al [1,2,3,4]. program ini sangat cocok digunakan untuk material silikon dan germanium, karena memang disain awal dari program ini mulanya dikhususkan untuk kedua bahan tersebut. Sebelum akhirnya dikembangkan untuk material semikonduktor yang lain.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan program simulasi PC1D untuk menghitung efisiensi film tipis Germanium dan Silicon. PC1D adalah suatu program simulasi dengan pendekatan satu dimensi yang dapat mensimulasikan fenomena transport pada bahan semikonduktor. Program tersebut dibangun dari perhitungan *finite element method* dan pertama kali dikembangkan oleh Paul Basore et.al [1,2,3,4] sekitar awal tahun 1990. Program ini awalnya digunakan untuk perancangan sel surya berbasis Silikon dan Germanium, namun pada perkembangannya saat ini banyak digunakan pula untuk perancangan material sel surya hetero junction yang kebanyakan berbasis semikonduktor III-V [5,6]

Untuk menjalankan program PC1D diperlukan input parameter atau nilai masukan awal untuk bahan yang akan digunakan. Parameter awal tersebut antara lain, luas permukaan piranti, sudut tekstur, ketebalan, konstanta dielektrik, celah energi, indeks bias, koefisien serapan, doping tipe N, doping tipe P, sumber cahaya, dan lain-lain. Dalam penelitian ini nilai

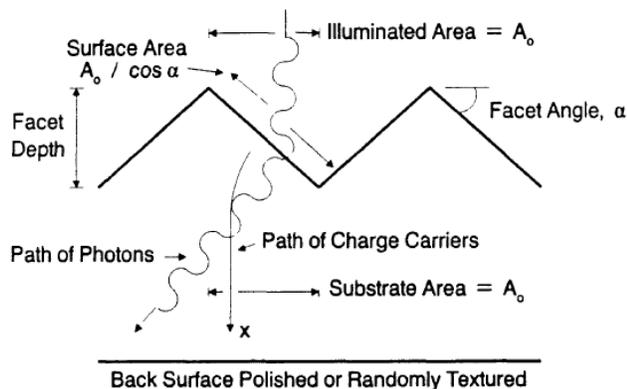
sudut tekstur dan ketebalan bahan akan divariasikan. Tabel.1 menunjukkan beberapa nilai parameter masukan yang digunakan.

Tabel 1. Nilai parameter awal Ge dan Si

Material	Bandgap Energy (eV)	Carrier Concentration (cm ⁻³)	Carrier Concentration (cm ⁻³)	Incident Light Intensity (att/cm ²)	Temperature (Kelvin)
Ge	0.64	1x10 ¹⁴	1x10 ¹⁷	100	300
Si	1.12	1x10 ²⁰	1x10 ¹⁷	100	300

Variasi sudut tekstur permukaan depan dilakukan dengan cara melakukan *double click* pada kalimat *surface texturing* pada panel PC1D dan mengisi nilai sudut yang dimaksud. Untuk perhitungan banyak sudut, dapat dilakukan dengan menggunakan *Batch Mode* dan mengisi rentang sudut yang diinginkan. Program PC1D akan secara otomatis melakukan simulasi perhitungan arus, tegangan dan daya keluaran dari lapisan sel surya yang digunakan.

Pengaruh *surface texturing* secara umum adalah meningkatkan luasan sel surya yang terekspos sinar matahari. Bila luas permukaan yang disinari tanpa penggunaan sudut tekstur (sudut $\alpha = 0^0$) adalah A_0 , dan luas permukaan yang terekspos sinar matahari setelah penteksturan adalah A , maka hubungan A dan A_0 ditunjukkan pada Gambar 1. dan persamaan (1).



Gambar 1. Hubungan antara A_0 dan A . Basore et.al [3]

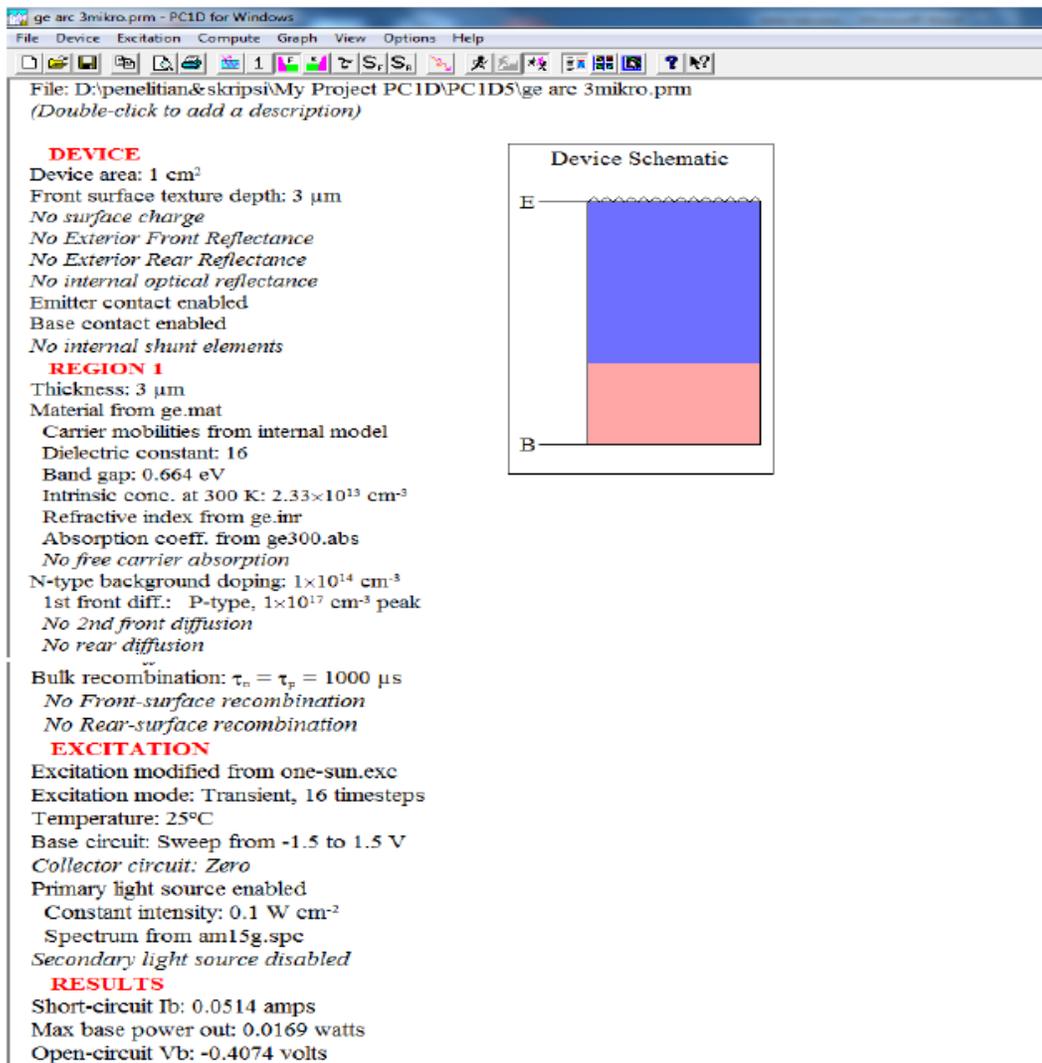
$$A_0 = A \cos \alpha \quad (1)$$

Nilai efisiensi sel surya secara umum dihitung dengan cara membandingkan daya maksimum keluaran P_m yang dihasilkan dari simulasi dengan daya masukan dari spektrum sinar matahari P_{in} , seperti ditunjukkan pada persamaan (2)

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \quad (2)$$

Untuk nilai P_{in} kita gunakan asumsi intensitas matahari dipermukaan bumi sebesar 0.10 W/cm^2 untuk Si dan Ge.

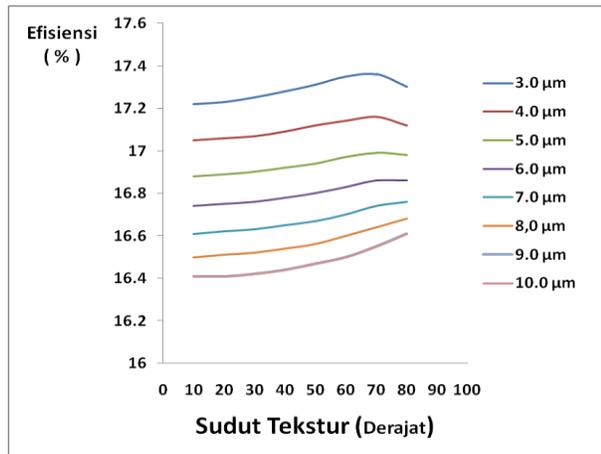
Pada Gambar 2. Ditampilkan contoh simulasi PC1D menggunakan *Batch Mode* dengan variasi sudut tekstur 10^0 hingga 80^0 .



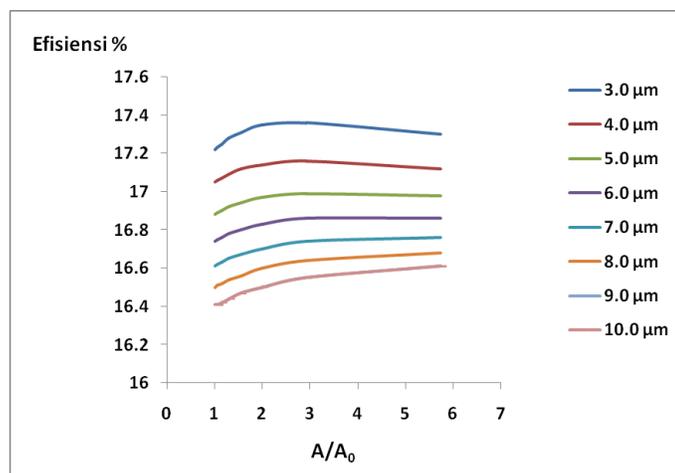
Gambar 2. Contoh Tampilan Simulasi program simulator sel surya PC1D untuk Germanium menggunakan *Batch Mode* dan variasi sudut tekstur atau *surface texturing*.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi untuk lapisan tipis sel surya *Germanium* (Ge) ditampilkan dalam Gambar 3 dan 4. Pada Gambar 1 ditampilkan nilai efisiensi daya keluaran sebagai fungsi dari sudut tekstur muka (*Front Textured Angle*) untuk berbagai macam ketebalan lapisan. Ada dua hal yang dapat diamati di sini, pertama bahwa semakin besar sudut tekstur akan meningkatkan nilai efisiensi daya keluaran. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai efisiensi tertinggi dicapai pada sudut tekstur 70^0 pada ketebalan lapisan $3.0 \mu\text{m}$. Jika dibandingkan dengan lapisan yang sama dengan sudut tekstur 10^0 terdapat peningkatan efisiensi sebesar 0.81 %. Ini menunjukkan bahwa secara umum perubahan sudut tekstur tidak berpengaruh banyak pada peningkatan nilai efisiensi dari lapisan sel surya Ge. Yang kedua, kita juga mengamati bahwa semakin tebal lapisan Ge, maka nilai efisiensi akan semakin berkurang. Hal ini selaras dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Tool et.al [7] dimana peningkatan ketebalan lapisan sel surya justru menurunkan nilai efisiensi sel surya. Secara umum pengaruh ketebalan lapisan sel surya akan mempengaruhi mekanisme penjemputan cahaya dan besar energi yang diserap oleh material sel surya tersebut[8]. Pada Gambar 4. Ditampilkan pengaruh variasi perbandingan antara luas permukaan lapisan dengan luas iluminasi terhadap nilai efisiensinya. Terlihat bahwa untuk Ge Variasi sudut semakin berkurang Semakin tebal lapisan maka semakinNilai efisiensi tertinggi diperoleh untuk nilai $A/A_0 = 2.92$ yang sesuai dengan nilai sudut tekstur 70^0 .



Gambar 3. Nilai efisiensi sebagai fungsi sudut tekstur pada beberapa nilai ketebalan dari lapisan tipis sel surya Germanium (Ge)

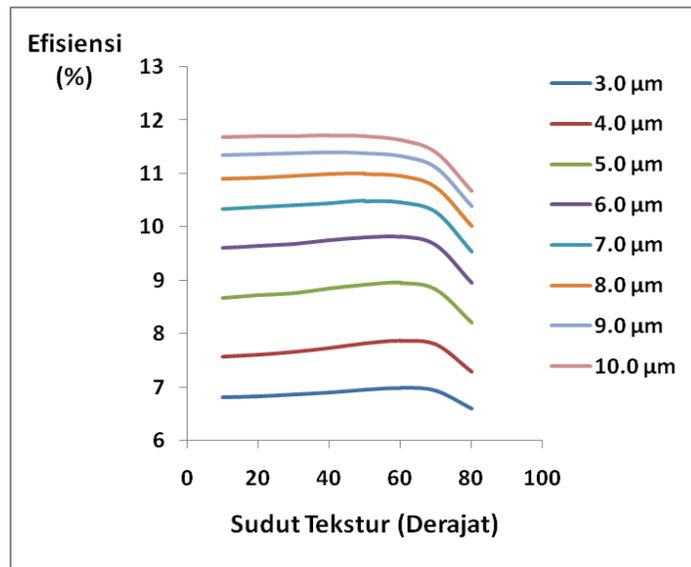


Gambar 4. Nilai efisiensi sebagai fungsi rasio luas permukaan terhadap luas iluminasi pada beberapa nilai ketebalan lapisan tipis sel surya Germanium (Ge).

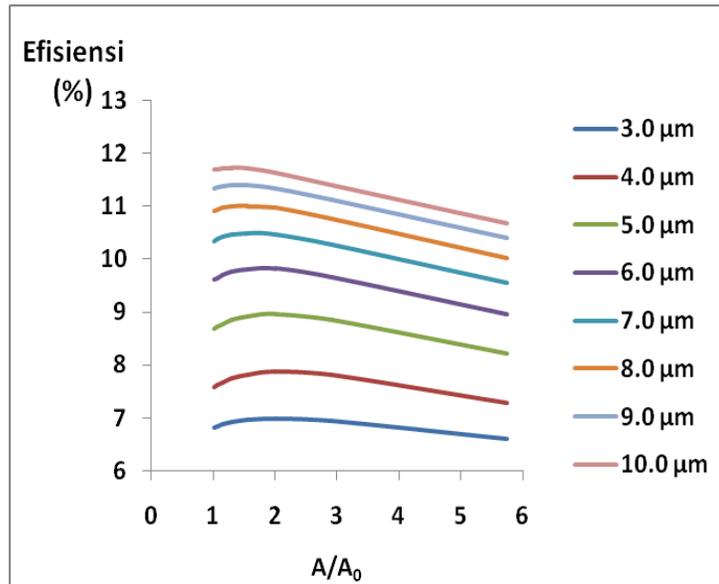
Hasil simulasi untuk Silikon ditampilkan pada Gambar 5 dan 6. Pada Gambar 5 ditunjukkan pengaruh sudut tekstur terhadap nilai efisiensi untuk berbagai macam ketebalan Silikon, terlihat bahwa secara umum terjadi peningkatan yang landai dari nilai efisiensi sel surya hingga sudut sekitar 40° , untuk kemudian jatuh secara linier untuk sudut di atas 40° . Terlihat pula disana pengaruh ketebalan Silikon terhadap nilai efisiensi total sel surya. Semakin tebal lapisan Silikon maka akan semakin besar pula

nilai efisiensinya. Hal ini disebabkan karena semakin tebal lapisan Silikon maka akan semakin banyak pembawa muatan tipe N yang tersedia.

Pada gambar 6 ditunjukkan pengaruh rasio luas permukaan akibat penteksturan dibandingkan dengan luas iluminasi tanpa penteksturan. Efisiensi tertinggi terdapat pada nilai A/A_0 sebesar 1.31 yang sesuai dengan sudut tekstur muka sebesar 40° .



Gambar 5. Nilai efisiensi sebagai fungsi sudut tekstur pada beberapa nilai ketebalan dari lapisan sel surya Silikon (Si).



Gambar 6. Nilai efisiensi sebagai fungsi rasio luas permukaan terhadap luas iluminasi pada beberapa nilai ketebalan lapisan tipis sel surya Silikon (Si).

4 KESIMPULAN

Telah dipelajari pengaruh surface texturing pada material sel surya Germanium dan Silikon menggunakan program PC1D. Pada Germanium dan Silikon kecenderungan yang terjadi adalah semakin besar sudut tekstur maka akan semakin besar pula nilai efisiensi material sel surya, sebelum akhirnya turun kembali setelah mencapai nilai puncak pada sudut 70° .

Kami juga menyimpulkan bahwa satu-satunya faktor yang berbeda dari Germanium dan Silikon dalam penelitian ini adalah ketebalan lapisan. Pada Germanium kecenderungannya adalah semakin tebal lapisan sel surya maka semakin kecil nilai efisiensi sel surya yang diperoleh, sedangkan hal sebaliknya berlaku untuk Silikon.

5. PUSTAKA

- [1] P.A.Basore, D.T. Rover, and A.W. Smith, 1988. "Enhanced Numerical Solar Cell Modelling". 20th IEEE PVSC, Sep 1988, pp.389-396.

- [2] P.A. Basore, 1991. “*PC-ID Version 3: Improved Speed and Convergence*”. 22nd IEEE PVSC, Oct 1991, pp.299-302.
- [3] P.A. Basore and D.A. Clugston,1996. “*PCID Version 4 for Windows: From Analysis to Design*”. 25th IEEE PVSC, May 1996, pp 377-381.
- [4] D. A. Clugston and P.A. Basore, “*Modelling Free carrier Absorption in Solar Cells*”, Progress in Photovoltaics, **5**, 229-236
- [5] R. R. King, D. C. Law, K. M. Edmondson, et al., 2007. “*40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ge multijunction solar cells,*” Applied Physics Letters, vol. 90, no. 18,
- [6] Allen Barnett et.al, 2007. “*Milestones toward 50% efficient solar cell modules*“.22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3-7 September 2007, Milan, Italy
- [7] C.J.J. Tool1, 2004, “*Wafer Thickness, Texture and Performance of Multicrystalline Silicon Solar Cells*”, Presented at: 14th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Bangkok, Thailand, 26-30 januari 2004
- [8] Stephen J Fonash, 2010, Solar Cell Device Physics 2nd Edition, Academic Press, USA

PENGARUH WAKTU *HOT-PRESSING* TERHADAP KEKUATAN TEKAN MATERIAL NANOKOMPOSIT

Leni Marlina^{*)}, Ida Sriyanti^{*)}, Feri Iskandar^{**)} dan Khairurrijal^{**)}

^{*)}*Pendidikan Fisika FKIP Universitas Sriwijaya (Unsri)*

^{**)}*Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Bandung (ITB)*

email : leni_fisika@yahoo.co.id

ABSTRAK

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lamanya waktu Hot-Pressing terhadap kekuatan tekan material nanokomposit. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *simple mixing* dan metode hot press. Adapun variasi waktu yang digunakan adalah 15, 20, 25, 30, 35 dan 40 menit. Diperoleh kekuatan tekan sebesar 84,53 MPa pada waktu maksimum 35 menit. Semakin lama waktu yang diberikan saat hot-pressing, semakin banyak pula pori-pori yang terisi secara efektif oleh polimer, akibatnya porositas komposit menurun sehingga interaksi antar partikel menjadi meningkat. Kondisi ini berdampak pada semakin kuatnya material komposit yang dihasilkan. Metode penelitian ini sangat berguna untuk menghasilkan material nanokomposit yang kuat dan ringan.

Kata Kunci : Nanokomposit, Hot-Pressing, Kekuatan Tekan.

1 PENDAHULUAN

Masalah limbah sekam padi merupakan isu yang akan selalu relevan untuk dipecahkan, terutama di propinsi Sumatera Selatan. Jumlah limbah sekam padi yang dihasilkan bervariasi tergantung dari kondisi penggilingan padi. Dari penggilingan padi dapat dihasilkan 65% beras, 20% sekam padi dan sisanya hilang[1].

Beberapa usaha telah dilakukan untuk memecahkan masalah ini, antara lain di bakar , dijadikan pupuk kompas maupun dibuang ke sungai musi. Akan tetapi, beberapa usaha tersebut dirasakan kurang cukup untuk mengimbangkan produksi sekam padi yang dari waktu ke waktu terus meningkat.

Karena pemanfaatan sekam padi secara komersial masih relatif kecil, sekam padi biasanya dibakar. Pengelolaan dengan cara seperti ini kurang efektif karena tidak menghasilkan material baru yang bernilai ekonomi tinggi. Sebenarnya masih banyak cara dalam mengelola sekam padi sehingga lebih bernilai ekonomi dan dapat

digunakan sebagai bahan pengganti kayu, diantaranya mengolah sekam padi untuk membuat material nanokomposit yang kuat dan ringan. Disisi lain, penggunaan kayu sebagai salah satu komoditas penting pemenuhan hidup masyarakat terus meningkat, seiring meningkatnya populasi dan gaya hidup masyarakat sekarang. Hal ini dalam jangka panjang akan berdampak pada rusaknya lingkungan hidup terutama hutan.

Oleh karena itu maka perlu dilakukan usaha untuk ikut memecahkan persoalan tersebut. Salah satu alternatif adalah mengelola sekam padi untuk dijadikan sebagai bahan pengganti kayu berupa material nanokomposit yang kuat dan ringan. Diharapkan material tersebut dapat dijadikan sebagai bahan dasar pengganti kayu. Melalui rekayasa komposit ini, sekam padi dapat dilah menjadi bahan-bahan furniture. Adapun teknologi yang dapat digunakan untuk membuat material nanokomposit ini adalah Teknologi nanokomposit [2]. Sedangkan material nanokomposit terdiri dari dua material, yaitu matriks yang berfungsi sebagai pengikat biasanya berupa oligomer dan filler sebagai penguat. Dalam hal ini komposit sekam terdiri dari filler sekam dan filler nanosilika. Silika merupakan salah satu material yang kesedianya sangat melimpah di alam, dan biasanya dijumpai di beberapa pantai dan gunung. Dengan sifat mekanik yang sangat kuat silika cocok ditambah sebagai filler pada pembuatan material komposit.

Salah satu bahan baru yang sedang dikembangkan sekarang adalah nanopartikel. Nanopartikel didefinisikan sebagai partikel material, baik yang berupa kristalin maupun amorf, yang memiliki ukuran berorde nano [3]. Walaupun memiliki persenyawaan yang sama, bahan nanopartikel akan memiliki sifat yang berbeda dengan bahan berbentuk *bulk*. Dan yang sangat menarik dari nanopartikel adalah sejumlah sifat tersebut dapat diubah-ubah dengan melalui pengontrolan ukuran material, pengaturan komposisi kimiawi, modifikasi permukaan, dan pengontrolan interaksi antar partikel [4,5]. Hal ini memberikan peluang aplikasi baru yang tidak dapat diterapkan pada material berukuran besar. Contoh nanopartikel yang menarik adalah nanosilika (*Silicon dioxide*) [6,7].

Oleh karena itu dalam penelitian ini diharapkan dapat dihasilkan sebuah material nanokomposit yang kuat dan ringan. Untuk mendapatkan material ini, didalam eksperimen salah satu variasi yang perlu dicari oleh Tim peneliti adalah hubungan antara pangaruh waktu *Hot-Pressing* terhadap kekuatan tekan material nanokomposit.

2 METODE PENELITIAN

Secara umum metode penelitian yang akan digunakan adalah metode induktif, yaitu diawali dengan observasi dan dilanjutkan dengan analisis. Dengan strategi tersebut, peneliti akan melakukan penelitian berupa eksperimen preparasi sampel. Namun sebelum melakukan eksperimen, akan dilakukan suatu studi pendahuluan dan untuk mendapatkan parameter yang tepat bagi eksperimen. Setelah eksperimen, dilanjutkan dengan karakterisasi, akan dilakukan analisis terhadap data primer yang diperoleh dari hasil karakterisasi.

2.1 Alat dan Bahan Percobaan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah blender, oven, gelas kimia, spatula, suntikan 10 mL, neraca analitik, magnetic stirer, cetakan dan hot press 10 ton dengan suhu maksimum 400°C. Sedangkan alat yang digunakan untuk uji tekan setiap sample adalah Torsee (Tokyo Testing Machine MFG., Ltd) Dan analisa *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dilakukan untuk mengetahui ikatan polymer dengan filler.

Dalam percobaan ini bahan yang digunakan adalah sekam padi yang diperoleh dari kecamatan indralaya kabupaten Ogan Ilir Sumatera Selatan (Indonesia). Sedangkan resin yang digunakan adalah polyvinyl acetate (PVAc; FOXTM) dan sebagai filler adalah nanosilika.

2.2 Langkah-langkah Percobaan

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Simple Mixing* dan metode Hot Press. Adapun langkah-langkah yang dilakuka dapat dilihat dibawah ini :

1. Percobaan pertama adalah pembuatan komposit dengan menggunakan sekam padi dan PVAc. Mula-mula sekam padi yang telah dikeringkan masing-masing

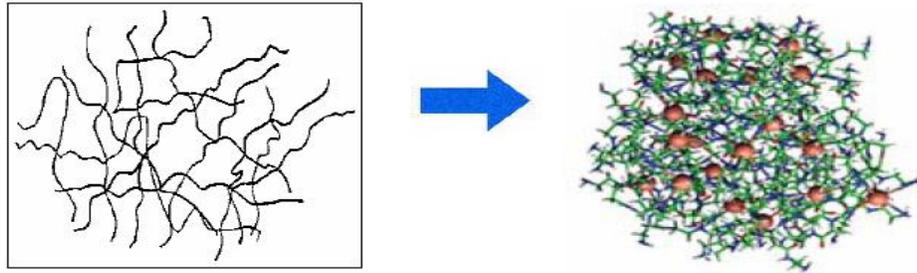
dihancurkan dengan menggunakan blender sampai halus. Kemudian menimbang polyvinyl acetate (PVAc; FOXTM) untuk dilarutkan kedalam 8 mL air dan diaduk dengan menggunakan magnetic stirer selama 10 menit. Sekam padi yang sudah dihancurkan diaduk dengan larutan PVAc dengan perbandingan 11 : 2,5. Tujuan dilarutkannya PVAc dalam air untuk membantu agar proses impregnasi (Penyisipan) ke dalam pori-pori bubuk sekam padi bisa homogen dan merata.

2. Percobaan kedua adalah pembuatan komposit dengan menggunakan campuran sekam padi, PVAc dan Nanosilika. Pertama-tama sekam padi dihancurkan sampai halus, kemudian perbandingan jumlah PVAc yang diperoleh dari percobaan sebelumnya dilarutkan dengan 8 mL air, sekam padi dan nanosilika.
3. Percobaan ketiga, penekanan sampel menggunakan hot press. Adapun perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : waktu penekanan selama 20 menit, suhu penekanan 100°C dan kekuatan tekan sebesar 50 MPa. Ukuran sample yang diperoleh rata-rata ketinggiannya 15-18 mm dan diameternya 25-26 mm.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Waktu Hot-Pressing Terhadap Kekuatan Tekan Material Nanokomposit

Sebelum disisipi oleh partikel-partikel serbuk gergaji, rantai-rantai PVAc awalnya bersifat *mobile*. Banyak pori diantara ranrai-rantai Polimer memungkinkan rantai-rantai polimer tetap bisa bergerak (Gambar 1(a)). Penambahan partikel serbuk kayu pada PVAc pada prinsipnya adalah menyisipkan partikel tersebut ke dalam pori-pori dan rantai-rantai polimer tersebut yang berakibat pada tereduksinya mobilitas rantai-rantai polimer. Susunan antar partikel menjadi semakin rapat dan jarak antar partikel menjadi lebih dekat (Gambar 1(b)). Akibatnya interaksi antar partikel menjadi meningkat. Secara keseluruhan terjadi peningkatan daerah interaksi yang secara mekanik berdampak pada meningkatnya kekakuan dan kekuatan komposit yang dihasilkan [3,8].



Gambar 1. (a) PVAc sebelum penambahan *filler*, (b) polimer setelah penambahan *filler*. [9]

Adapun data Waktu *Hot-Pressing* terhadap kekuatan tekan material nanokomposit dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Data waktu hot-pressing terhadap kekuatan tekan (MPa)

Sampel					
No	Tekan (Mpa)	Lama hot press (Menit)	Beban uji (Kg)	d (mm)	Kekuatan tekan (MPa)
1	100	15	2850	26	52,63
2	100	20	2650	26	48,94
3	100	25	3400	26	62,79
4	100	30	3550	25	70,91
5	100	35	3900	24	84,53
6	100	40	3800	24	82,36

Proses impregnasi (Penyusupan/penetrasi) PVAc ke dalam pori-pori serbuk dan silika akan sangat dipengaruhi oleh parameter temperatur dan tekanan (*hot-press*) serta lama proses impregnasi tersebut [7,10]. Dengan menaikkan tekanan dan temperatur, dimungkinkan terjadinya kontak yang lebih intim antara permukaan adhesif dengan permukaan adheren disekitarnya yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan kekuatan mekaniknya [11].

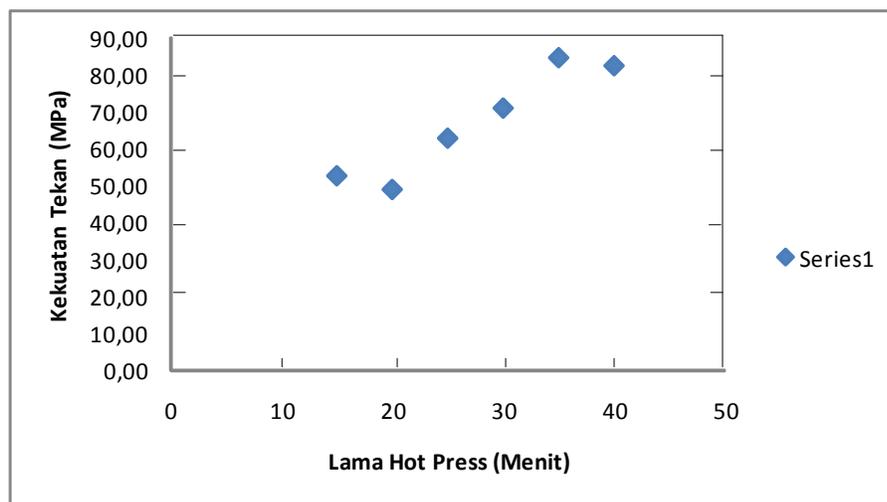
Kehadiran panas atau temperatur (*tempering*) berakibat pada menurunnya nilai viskositas polimer [12]. Dengan penurunan viskositas, laju penetrasi polimer ke dalam pori-pori menjadi lebih cepat dan efisien [13]. Pengisian polimer ke dalam pori-pori ini meningkatkan densitas dan kerapatan komposit. Bahkan menurut [14], dengan menaikkan temperatur polimer jauh di atas temperatur gelas, dalam hal ini temperatur gelas PVAc 31⁰C proses impregnasi polimer ke dalam permukaan berporos akan lebih mudah sehingga mampu meningkatkan interaksi permukaan antara polimer dengan adherennya. Dengan demikian, interaksi permukaan total antar partikel pun meningkat. Hal ini berdampak pada peningkatan kekuatan mekanik material komposit yang dihasilkan [8] dalam hal ini kekuatan tekannya. Semakin tinggi temperatur yang diberikan semakin besar pula kekuatan tekan komposit yang dihasilkan.

Dengan mengingat bahwa kebergantungan viskositas terhadap temperatur merupakan fungsi eksponensial meluruh terhadap temperatur cenderung tidak mengubah secara signifikan nilai viskositas polimer, yang kemudian disebut viskositas tersaturasi (*saturated viscosity*). Pada viskositas tersaturasi ini laju penetrasi polimer ke dalam pori-pori serbuk gergaji dan silika akan mencapai laju terminal (tetap). Akibatnya, kekuatan tekan komposit yang dihasilkan pun juga cenderung tetap.

Selain dipengaruhi temperatur, impregnasi juga sangat dipengaruhi oleh tekanan (*pressing*). Tekanan ini berdampak pada proses impregnasi polimer ke dalam pori-pori juga meningkat. Hal ini karena kehadiran tekanan pada prinsipnya berfungsi sebagai gaya pendorong yang mempercepat laju penetrasi tersebut. Pada temperatur yang sama, peningkatan tekanan berdampak peningkatan laju penetrasi [15]. Bahkan, pada temperatur tinggi pemberian tekanan juga berfungsi untuk lebih mengefektifkan ikatan antara polimer dengan adherennya [14]. Akibatnya pori yang terimpregnasi pun akan semakin bertambah. Di sisi lain, tekanan juga menyebabkan jarak antar partikel semakin dekat, porositas menurun, densitas komposit meningkat dan susunan partikel menjadi lebih solid [16] sehingga interaksi permukaan total antar

partikel pun meningkat. Hal ini berdampak pada peningkatan kekuatan mekanik material komposit yang dihasilkan [8], dalam hal ini kekuatan tekannya.

Penambahan tekanan pada dasarnya semakin meningkatkan kekuatan tekan komposit yang dihasilkan. Namun pada tekanan tertentu penambahan tekanan hanya akan menambah sedikit saja kekuatan tekan komposit yang dihasilkan, bahkan cenderung konstan. Tekanan inilah yang disebut sebagai tekanan optimum atau tekanan tersaturasi (*saturated pressure*), dimana pada tekanan ini kemampuan impregnasi polimer sudah mencapai kondisi jenuh. Nilai ini dicapai karena porositas yang sudah sangat kecil dan menyempit tidak memungkinkan lagi polimer dengan viskositas tersebut untuk melakukan penetrasi yang lebih kuat. Akibatnya, kekuatan tekan komposit yang dihasilkan pun juga cenderung tetap. Akan tetapi, kemampuan penetrasi ini masih memungkinkan untuk ditingkatkan jika temperatur dinaikkan selama belum mencapai temperatur saturasinya.



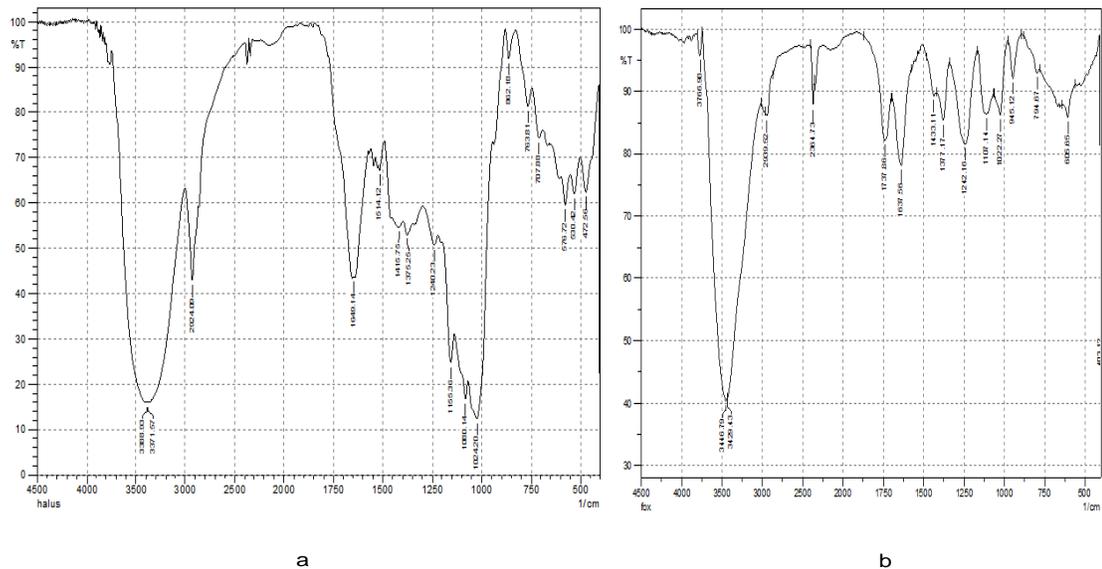
Gambar 2. Grafik antara waktu (lama) hot press (menit) terhadap kekuatan tekan (MPa)

Hal di atas konsisten dengan yang ditampilkan oleh grafik pada Gambar 1, dimana pada kelima sampel, yaitu sampel-sampel 125°C , 150°C , 175°C , 200°C dan 225°C penambahan tekanan fabrikasi dari 80 Mpa ke 100 Mpa memang berpengaruh besar pada peningkatan kekuatan komposit yang dihasilkan. Sedangkan pada

penambahan tekanan dari 100 Mpa ke 120 Mpa pada umumnya hanya sedikit mengubah kekuatan komposit, kecuali pada sampel 125⁰C. Kecenderungan ini dikarenakan tekanan yang diberikan sudah mencapai tekanan saturasi. Pemberian tekanan saturasi ini mengakibatkan jarak antar partikel komposit menjadi minimum sehingga tidak dapat mengalami proses pemampatan lagi. Di sisi lain, semua pori dan partikel *filler* sudah hampir terimpregnasi oleh polimer sehingga penambahan tekanan cenderung tidak mengubah kekuatan tekan yang dihasilkan. Peningkatan ini dikarenakan viskositas polimer pada temperatur tersebut diduga belum mencapai kondisi tersaturasi. Meskipun demikian, peningkatan ini tidak sebesar pada penambahan tekanan dari 80 Mpa ke 100 Mpa, artinya peningkatan tekanan pada sampel ini cenderung mulai mengecil.

3.2 Analisis Data FTIR

Penambahan silika yang ternyata berpengaruh pada peningkatan kekuatan mekanik komposit dapat dijelaskan dengan pendekatan analisis FTIR ini. Meskipun spektra ini merupakan spektra tanpa kehadiran partikel serbuk gergaji, setidaknya ini dapat menjelaskan adanya interaksi antara silika dengan PVAc.



Gambar 3. FTIR Nanosilika dan PVAC

Hasil spektra FTIR ditampilkan pada Gambar (3a). puncak 1734 dan 1745 cm^{-1} pada Gambar (3b) merupakan gugus fungsi karbonil ($\text{C} = \text{O}$) dari PVAc. Setelah pencampuran silika ke dalam PVAc, kedua puncak tersebut mengalami sedikit pergeseran ke 1732 dan 1743. Hal ini menunjukkan adanya interaksi lemah dan diduga merupakan interaksi Van der Waals dipol-dipol antara gugus atom C karbonil dengan oksigen pada silika. Munculnya interaksi ini karena atom C pada gugus fungsi *acetate* membentuk senyawa karbonil dengan oksigen ($\text{C} = \text{O}$) sehingga atom C menjadi lebih elektropositif [17]. Atom C ini kemudian berinteraksi dengan atom O pada silika yang lebih elektronegatif [18]. Interaksi sejenis juga terjadi antara atom O pada gugus karbonil $\text{C} = \text{O}$ dengan atom S pada silika.

Kesimpulan

Melalui metode simple mixing dan hot-press, sekam padi bersama dengan silika dan polimer polypinil acetate (PVAc) secara efektif dapat diolah menjadi material komposit yang kuat dan ringan. Untuk mengetahui pengaruh lamanya waktu Hot-Pressing terhadap kekuatan tekan material nanokomposit. Adapun variasi waktu yang digunakan adalah 15, 20, 25, 30, 35 dan 40 menit. Diperoleh kekuatan tekan sebesar 84,53 MPa pada waktu maksimum 35 menit. Dimana semakin lama waktu yang diberikan pada saat hot-pressing, maka semakin banyak pula pori-pori yang terisi secara efektif oleh polimer, akibatnya porositas komposit menurun sehingga interaksi antar partikel menjadi meningkat. Kondisi ini berdampak pada semakin kuatnya material komposit yang dihasilkan. Adapun penambahan silika ternyata berpengaruh pada peningkatan kekuatan mekanik komposit dapat dijelaskan dengan menggunakan analisa FTIR.

Ucapan Terima Kasih

Tim Peneliti Mengucapkan Terima Kasih kepada Dikti atas Hibah Pekerti Tahun 2012, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marlina, L., Sriyanti, I., Feri I., dan Khairurrijal. (2012) : *Pengaruh Komposisi Sekam Padi dan Nano Silika Terhadap Kuat Tekan Material Nanokomposit*. Jurnal Penelitian Sains. MIPA Fisika Unsri.
- [2] Sriyanti, I. (2009) : *Nanoparticles SiO₂ Prepared by Simple Milling Method*. Proceeding The 3rd International Seminar on Science Education. UPI. Bandung.
- [3] Mikrajuddin, A., dan Khairurrijal (2008) : *Pengantar Nanosains Bandung*, Penerbit ITB.
- [4] Abdullah, M., Lenggoro, I.W., and Okuyama, K. (2004a) : Polymer Electrolyte Nanocomposites, Encyclopedia of Nanoscience and nanotechnology, HS. Nalwa. Ed., (American Scientific Publishers, Stevenson Ranch), Vol. 8, pp. 731-762.
- [5] Ershad-Langroudi, A., and Rahimi, A. (2009) : Synthesis and Characterisation of Nano Silica based Coatings for Protection of Antique Articles, *International Journal of Nanotechnology*, Vol. 6, pp. 915-918.
- [6] Abdullah, M., Shibamoto, S., and Okuyama, K. (2004b) : Synthesis of ZnO/SiO₂ Nanocomposites Emitting Specific Luminescence Colors, *Optical Materials*, Vol. 26, pp. 95-100.
- [7] Zhang, Y., Zhang, S. Y., & Chui, Y. H. (2006) : Water Vapor Adsorption and Volumetric Swelling of Melt-Impregnated Wood-Polymer Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, **102**, 2668-2676.
- [8] Sperling, L.H. (2006) : *Introduction to Physical Polymer Science*, Fourth Edition. New Jersey, John Wiley & Sons.
- [9] Hadiyawardan, Rijal, A., Nuryadin, B.W., Abdullah, M., & Khairurrijal. (2008) : Fabrication of Super-Strong, Lightweight, and Transparent Nanocomposite Material Using Simple Mixing Method, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, **1**, 15-21.

- [10] Giudiece, C.A., & Pereyra, A.M. (2009) : Silica Nanoparticles in High Silica Alkali Molar Ratio Solution as Fire-Retardant Impregnants for Woods, *Fire and Materials*.
- [11] Packham, D.E., (2005) : *Handbook of Adhesion*, Second Edition, Chicester, John Wiley & Sons Ltd.
- [12] Abdulagatov, I.m., Zeinalova, A.b., & Azizov, N.D. (2006) : Viscosity of Aqueous Electrolyte Solution at High Temperatures ang High Pressures. Viscosity B- coefficient. Sodium Iodide, *J. Chem. Eng. Data*, **51**, 1645-1659.
- [13] Matyka, M., Khalili, A., & Kozal, Z. (2008) : Tortuosity Porosity Relation in Porous Media Flow, *Physical Review E*, **78**, 026306-1 – 026306-8.
- [14] Baldan, A. (2004) : Review Adhesively-Bonded Joints and Repairs in metallic Alloys, Polymer and Composite Materials : Adhesives, Adhesion Theories and Surface Pretreatment, *Journal of Materials Science*, 39, 1-49.
- [15] Badruzaman,U., (1993) : *Hubungan antara tekanan tercampur minimum dengan sifat fisik (Viskositas dan Density) dan komposisi untuk beberapa Contoh minyak indonesia*, Tesis Program Master, Institut Teknologi Bandung.
- [16] Jones, R. M. (1999) : *Mechanics of Composite Materials*, Second Edition, Philadephia, Taylor and Francis.
- [17] Hunt, A. (2008) : *Complete A – Z Chemistry Handbook*, 3rd Edition, London, Hodder Education.
- [18] Brown, T.L., Lemay, H. E.,& Bursten, B. E. (1994) : *Chemistry: The central Scince*, Sixth edition, New Jersey, Prentice-Hall International.

PENGEMBANGAN ELEKTRONIK KAMUS UNTUK MATA KULIAH

FISIKA DASAR

Ida Sriyanti

Pendidikan Fisika FKIP Universitas Sriwijaya (Unsri)

Jln PalembangPrabumulih Km 32 Inderalaya OI (Sum-Sel)

email : ida_sriyanti@yahoo.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan elektronik kamus untuk mata kuliah Fisika Dasar I. Metode yang digunakan adalah metode pengembangan (*Development Research*) dengan menggunakan pendekatan pengembangan model Borg & Gall adapun langkah-langkah pengembangan yang dilakukan adalah Penelitian dan pengumpulan informasi (research and information collecting), Perencanaan (planning), Mengembangkan bentuk produk awal (develop preliminary form of product). Pengujian lapangan awal (preliminary field testing), Revisi terhadap produk utama (main product revision), Pengujian lapangan utama (main field testing), Revisi produk operasional (operational product revision), Pengujian lapangan operasional (operational field testing), Revisi produk akhir (final product revision) dan Diseminasi dan distribusi (dissemination and distribution). Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini baru sampai pada tahap pengembangan (*develop*). Berdasarkan hasil validitas produk yang dihasilkan, media pembelajaran *Elektronik-kamus* fisika dasar I layak di ujicoba dan digunakan untuk pembelajaran Fisika Dasar I khususnya materi kinematik dan dinamika.

Kata Kunci : Elektronik Kamus, Fisika Dasar.

I. PENDAHULUAN

Berkembangnya ilmu dan teknologi khususnya komputer, membawa perubahan pada dunia pendidikan. Perubahan tersebut antara lain pada *learning material*, *learning media*, pola belajar mahasiswa dan sumber-sumber belajar [1]. Beberapa keuntungan yang dapat diperoleh melalui pemanfaatan komputer sebagai media dalam pembelajaran diantaranya adalah kelebihanannya dalam mempresentasikan grafik dan gambar sebagai bentuk visual yang dapat diamati dan dipelajari. Beberapa peneliti pendidikan menyatakan bahwa komputer sangat potensial untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. [2,3,4].

Menurut Rosenberg (dalam Surya, 2006) [5] terdapat lima pergeseran dalam proses pembelajaran dengan berkembangnya penggunaan teknologi informasi (teknologi komputer) yaitu, dari pelatihan ke penampilan, dari ruang kelas ke di mana dan kapan saja, dari kertas ke

“online” atau saluran, dari fasilitas fisik ke fasilitas jaringan kerja, dari waktu siklus ke waktu nyata.

Berdasarkan hasil penelitian Jauhari, J (2009) pembelajaran dengan bantuan komputer dapat membantu menjelaskan konsep-konsep yang bersifat abstrak sehingga dapat dipahami dan disajikan dalam bentuk yang lebih kongkret dan lebih mudah dimengerti serta dapat disajikan sesuai dengan tingkat-tingkat berpikir mahasiswa. Selain itu media berbasis komputer dapat digunakan kapan saja dan dimana saja [6], [7] dan [8]. Salah satu bentuk media pembelajaran berbantuan komputer adalah *e:kamus* [9]

Menurut Tim penyusun kamus pusat bahasa (2002) kamus adalah buku acuan yang memuat kata dan ungkapan dan disusun menurut abjad berikut keterangan tata makna, pemakaian dan terjemahannya. Sehingga kamus diartikan sebagai buku yang memuat kumpulan istilah atau nama yang disusun menurut abjad beserta penjelasan tata makna, pengertian, istilah dan pemakaiannya. sedangkan *e-Kamus* (elektronik kamus) Fisika Dasar merupakan media yang berisi tentang istilah, pengertian, persamaan Fisika dan animasi Fisika yang ditampilkan melalui monitor. Media ini menjadikan komputer sebagai *tools* dan tutor bagi penggunaannya.

Berdasarkan hasil pengalaman peneliti selama mengajarkan mata kuliah tersebut, prestasi belajar mahasiswa yang mengambil mata kuliah tersebut belum begitu mengembirakan. Hal ini dapat dilihat dari rendahnya nilai hasil belajar mahasiswa, khususnya materi tentang kinematika dan dinamika. Untuk Tahun ajaran 2010/2011 nilai rata-rata mata kuliah ini adalah 2,65 (dalam skala 0-4). Selain itu juga masih banyak mahasiswa yang dapat lulus setelah dua atau tiga kali mengikuti mata kuliah tersebut. Rendahnya hasil belajar mahasiswa dalam mata kuliah Fisika Dasar I tersebut salah satunya disebabkan oleh kurangnya penggunaan media pengajaran.

Berdasarkan latar belakang di atas untuk menghasilkan inovasi media pembelajaran Fisika Dasar I sehingga dapat meningkatkan keefektifan belajar Fisika Dasar I mahasiswa program studi pendidikan Fisika FKIP Universitas Sriwijaya, maka pengusul tertarik untuk mengembangkan *e:kamus* Fisika Dasar I.

2 METODE PENELITIAN

Metode Penelitian yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian dan pengembangan (*research and development*) Borg & Gall (1979:626), secara konseptual mengemukakan ada sepuluh tahap metode penelitian dan pengembangan yaitu :

- 1) Penelitian dan pengumpulan informasi (research and information collecting).
- 2) Perencanaan (planning).
- 3) Mengembangkan bentuk produk awal (develop preliminary form of product)
- 4) Pengujian lapangan awal (preliminary field testing).
- 5) Revisi terhadap produk utama (main product revision).
- 6) Pengujian lapangan utama (main field testing).
- 7) Revisi produk operasional (operational product revision).
- 8) Pengujian lapangan operasional (operational field testing).
- 9) Revisi produk akhir (final product revision).
- 10) Diseminasi dan distribusi (dissemination and distribution).

Mengacu kepada proses penelitian dan pengembangan di atas, langkah penelitian pengembangan yang dilakukan disederhanakan ke dalam empat tahap yaitu :

- 1) Prasarvai yang ditujukan untuk mengetahui kondisi riil dan kebutuhan media ajar.
- 2) Merancang *mapping* dan *Storyboard* dari pembuatan materi ajar.
- 3) Uji coba media ajar.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Deskripsi Pendesainan Materi Ajar

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, dimulai dari : (1) Tahap pendahuluan yaituprasarvai yang ditujukan untuk mengetahui kondisi riil dan kebutuhan media ajar, (2) Tahap perencanaan yaitu merancang *mapping* dan *Storyboard* dari pembuatan materi ajar, (3) Tahap pengembangan yaitu tahap uji coba media ajar, dan (4) Tahap Validitas yaitu uji validasi media ajar yang ditujukan untuk

mengetahui efektifitas media yang dibuat. Tetapi penelitian ini baru sampai pada tahapan pengembangan yaitu uji coba media ajar.

3.3.1 Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan yaitu prasarvai yang ditujukan untuk mengetahui kondisi riil dan kebutuhan media ajar, pada tahap ini kegiatan yang dilakukan meliputi :

Studi Literature

Hal yang dilakukan dalam tahapan ini berupa studi literatur tentang teori-teori yang berhubungan dengan media yang akan dikembangkan dengan melihat jurnal-jurnal nasional maupun jurnal internasional.

Prasarvai

Prasarvai yang dilakukan meliputi : lembaga (Pendidikan MIPA FKIP Unsri), kurikulum yang digunakan saat ini yaitu kurikulum tingkat satuan pendidikan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, ditetapkan standar kompetensi, kompetensi dasar dan indikator keberhasilan untuk pokok bahasan kinematika gerak dan dinamik

Adapun standar kompetensi, kompetensi dasar dan indikator keberhasilan untuk pokok bahasan kinematika gerak dapat dilihat dibawah ini :

Standar kompetensi : Mengetahui dan memahami besaran perpindahan dan arah Perpindahan.

Kompetensi dasar : Memahami pengertian gerak materi tanpa meninjau penyebab materi bergerak , termasuk jenis-jenis lintasan gerak materi.

Indikator Keberhasilan : Setelah mempelajari pokok bahasan ini mahasiswa diharapkan mampu :

- a. Memahami tentang posisi, kecepatan dan percepatan.
- b. Menurunkan hubungan umum antara posisi, kecepatan dan percepatan;
- c. Menentukan Besar dan arah percepatan, kecepatan jika diketahui posisi atau sebaliknya.
- d. Menurunkan persamaan gerak lurus beraturan (kecepatan konstan)

- e. Menurunkan persamaan gerak lurus berubah beraturan (GLBB) pada gerak vertikal.
- f. Menjelaskan bahwa dalam gerak parabola, gerak horizontal dan vertikal saling bebas.
- g. Menurunkan besaran – besaran pada gerak parabola: posisi, kecepatan, ketinggian, waktu terbang.
- h. Menurunkan persamaan partikel bergerak melingkar dengan kelajuan konstan memiliki kecepatan sentripetal v^2/r dan berarah ke pusat lingkaran.

Adapun untuk pokok bahasan Dinamika :

Standar Kompetensi : Mengetahui dan memahami besaran perpindahan dan arahperpindahan

Kompetensi Dasar : Mahasiswa memahami gerak partikel dengan meninjau penyebab materi tersebut bergerak (Hukum – Hukum Gerak) termasuk gaya yang bekerja pada materi tersebut.

Indikator Keberhasilan:Setelah perkuliahan mahasiwa mampu :

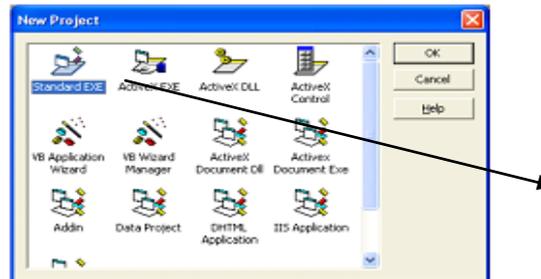
- a. Menjelaskan definisi gaya dan massa dan menyatakan hukum-hukum Newton I tentang gerak.
- b. Menjelaskan hukum-hukum Newton II tentang gerak (dengan gesekan).
- c. Membedakan antara pasangan gaya aksi reaksi yang berkerja pada benda yang berbeda (Hukum Newton III).
- d. Menerapkan hukum-hukum Newton dengan cara yang sitematik untuk memecahkan soal-soal mekanika.

3.2 Tahap Pengembangan

Pada tahapan ini bagiannya merupakan tahap disain media e:kamus Fisika Dasar. Pada tahap ini meliputi perancangan media e:kamus Fisika Dasar I. Adapun langkah-langkah merancang media tersebut yaitu :

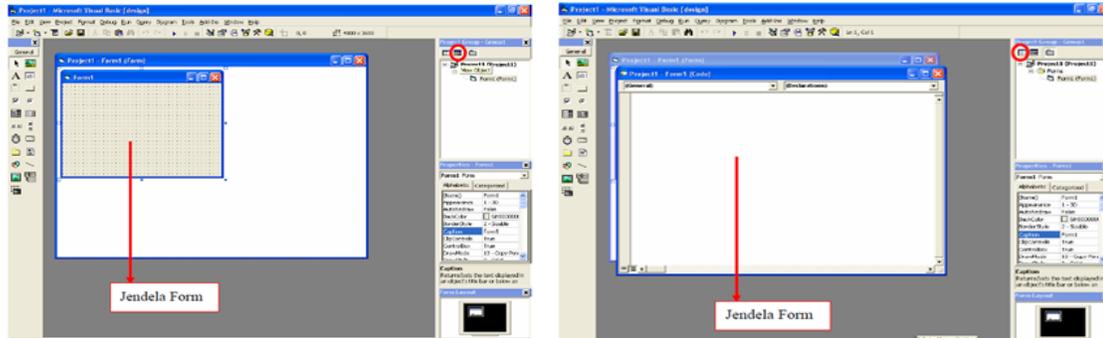
1. Pilih START lalu pilih Microsoft Visual Basic 6.0
2. Untuk memulai pembuatan program aplikasi di dalam Visual Basic, yang dilakukan adalah membuat project baru dengan memilih menu [File] >> [New Project] atau dengan menekan ikon [new project] pada Toolbar yang terletak di pojok kiri atas. Setelah itu

akan muncul konfirmasi untuk jenis project dari program aplikasi yang akan dibuat seperti terlihat pada gambar 1. Berikut ini :



Gambar 1. Layar pemilihan jenis project

3. Selanjutnya pilih Standard EXE dan tekan [Ok]. Lalu muncul tampilan dari Standard Exe. Dengan demikian project sudah siap dibuat. Dalam pembuatan project sebelumnya double click pada form yang terbuat maka adak terlihat jendela tersembunyi (*hidden windows*) yang berupa jendela untuk pembuatan program atau jendela kode (*code windows*). Hal ini Dapat dilakukan dengan cara memilih ikon jendela form atau jendela kode yang ada di [Project Explorer]. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3

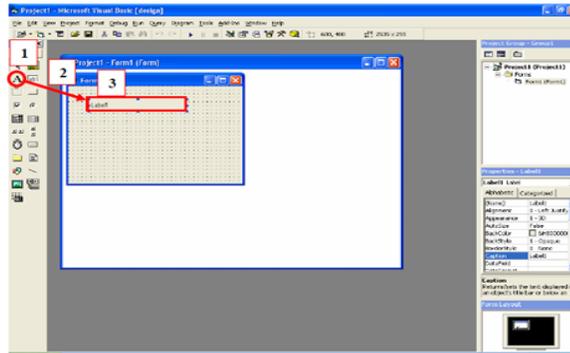


(a)

(b)

Gambar 2. Jendela Form (a), Jendela Kode (b)

4. Pada jendela form, pengguna dalam membangun tampilan dari program aplikasi yang akan dibuat dengan mengatur komponen-komponen baik letak, properti dan eventnya. Untuk mengambil suatu komponen dari [Toolbox] dapat dilakukan dengan click komponen tersebut, kemudian klik atau tarik pada posisi yang benar pada form. Sebagai contoh mengambil label dari Toolbox dapat dilakukan dengan cara seperti gambar 9 di bawah ini.



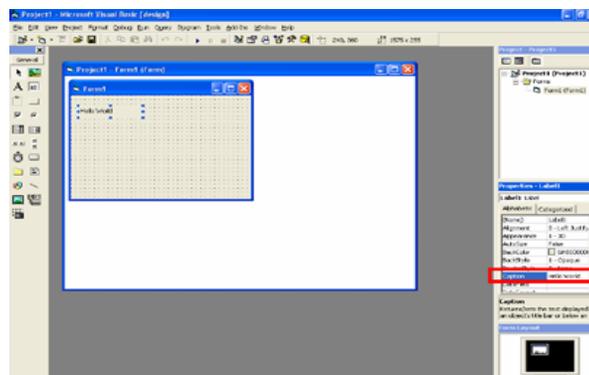
Gambar 4. Cara mengambil label dari Toolbox

Langkah-langkah mengambil label dari toolbox untuk dipasangkan dalam form adalah sebagai berikut:

- (1) Click ikon [Label] pada [ToolBox]
- (2) Pindahkan ke posisi dimana label itu akan diletakkan
- (3) Klik dan tarik sampai ukurannya benar lalu lepaskan

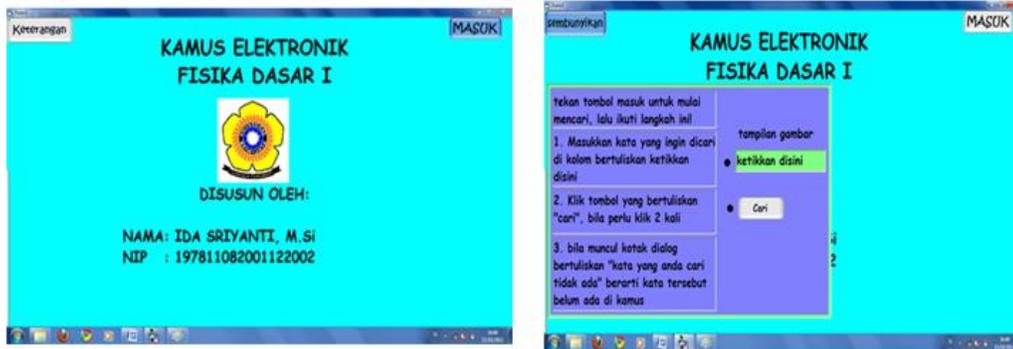
Jangan lupa untuk mengatur property name dari setiap komponen yang digunakan, karena name merupakan identitas obyek yang akan digunakan dalam menulis program.

Langkah berikutnya adalah memberikan teks pada label, misalkan “Hello world”, maka pilih properti Caption, dan isi dengan Hello world. Hasil tampilan program adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Layout pada form

Dan untuk menjalankan program click ikon Run () pada toolbar atau pilih menu [Run] >> [Start], atau dengan tekan tombol [F5]. Sehingga hasil program adalah:



Gambar 6. Contoh e:Kamus yang telah dibuat

3.3 Tahap Validasi Desain/ Uji Pakar

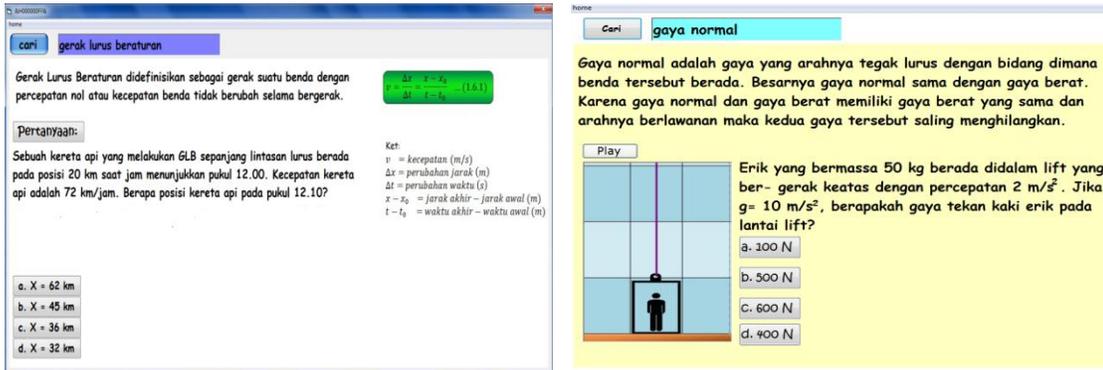
Pada tahap ini e:kamus yg telah dibuat dikonsultasikan dengan ahli yaitu Jaidan Jauhari, M.T dan Ali Ibrohim dosen fasilkom Unsri. beberapa saran yang digunakan untuk merevisi desain media ajar tersebut . adapun e:kamus yang diperbaiki khususnya pada kata kunci gerak lurus beraturan dan gaya normal. Adapun saran yang akan direvisi oleh Tim peneliti

1. Pada contoh soal letakkan gambar yang menceritakan permasalahan yang dipecahkan.
2. Tambah animasi bergerak
3. Khusus gerak lurus berubah beraturan, jabar sedikit persamaan umum yang ada
4. Beri solusi jawaban, apabila jawaban benar dan apabila user memilih jawaban salah maka ada kata salah.
5. Pada kata kunci gaya normal belum ada persamaan yang berhubungan dengan gaya normal tersebut.

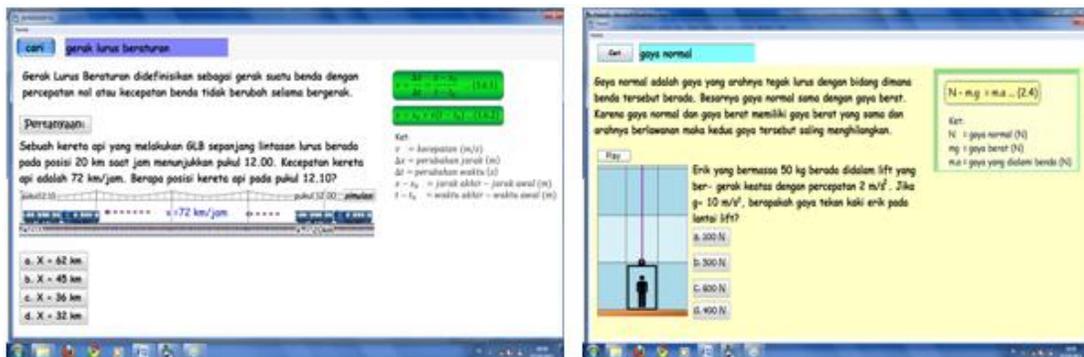
Adapun revisi yang dilakukan oleh peneliti yaitu :

1. Memberi gambar real yang berhubungan dengan materi yang dibahas.
2. Menambahkan animasi yang bergerak melalui SWF.
3. Menjabarkan lebih detail persamaan gerak lurus
4. Memberi solusi jawaban apabila user memilih jawaban benar.
5. Menambah persamaan yang berhubungan dengan gaya normal.

Gambar pruduk e:kamus yang belum dan telah direvisi dapat dilihat dibawah ini :



Gambar 7. Salah satu kata kunci yang ada di produk e:kamus yang belum di revisi
 Sedangkan salah satu contoh produk e:kamus yang telah di revisi adalah :



Gambar 8. Produk e:kamus yang telah di revisi

4 KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan penelitian ini :

1. Telah dihasilkan produk e:kamus Fisika Dasar I khususnya materi kinematika dan dinamika.
2. Dari puluhan kata kunci yang dihasilkan (dibuat) ada dua kata kunci yang layak di revisi.
3. Berdasarkan hasil revisi produk akhir dan uji coba kelompok kecil, produk ini dapat digunakan untuk pembelajaran Fisika dasar I dan penelitian ini dapat dilanjutkan untuk mengetahui seberapa efektif media yang telah dikembangkan.

4.2 Saran

Karena penelitian ini merupakan penelitian awal untuk mengembangkan e:kamus, maka penelitian semacam ini layak di lanjutkan untuk materi-materi selanjutnya, baik ditingkat universitas maupun di tingkat sekolah atas, menengah dan dasar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Darmawan, Deni. 2009. *Teknis Pengembangan Pembelajaran Berbasis Multimedia Interaktif*. Makalah disammediakan mediada pelatihan Pengembangan Bahan Ajar Bagi Dosen
- [2] Herman, Tatang. 2003. *Pengembangan Multimedia Matematika Interaktif Untuk Menumbuhkembangkan Kemampuan Penalaran Matemati Siswa Sekolah Dasar*. Makalah Seminar Nasional Pendidikan MIMEDIA : UPI Bandung
- [3] Jensen, R.J. & Williams, B.S.1993. *Technology : Implications for Middle Grades Mathematics*. New York :McMillan and Reston
- [4] Jaidan Jauhari, 2009. Studi Terhadap Penggunaan Multimedia Interaktif Untuk Pembelajaran media di Indonesia. *Prosiding seminar nasional penelitian di UNY*. Tanggal 16 Mei 2009 di Karang Malang Yogyakarta.
- [5] Surya, M. (2006). Potensi Teknologi Informasidan Komunikasi Dalam Peningkatan Mutu Pembelajaran di Kelas. *Makalah dalam Seminar Pemanfaatan TIK untuk Pendidikan Jarak Jauh dalam Rangka Peningkatan Mutu Pembelajaran*. Diselenggarakan oleh Pustekkom Depdiknas, tanggal 12 Desember 2006 di Jakarta.
- [6] Liao, Y.K. 1992. Effects of Computer-assisted Intruction on Cognitive Outcomes : A Meta Analysis. *Journal of Research on Computing in Education*, 24
- [7] Mai Neo and Tse-kian Neo. 2008. Students' perceptio of interaktive multimedia web-based learning : A. malaysia perspective. *Proceedings asclite Melbourne*.

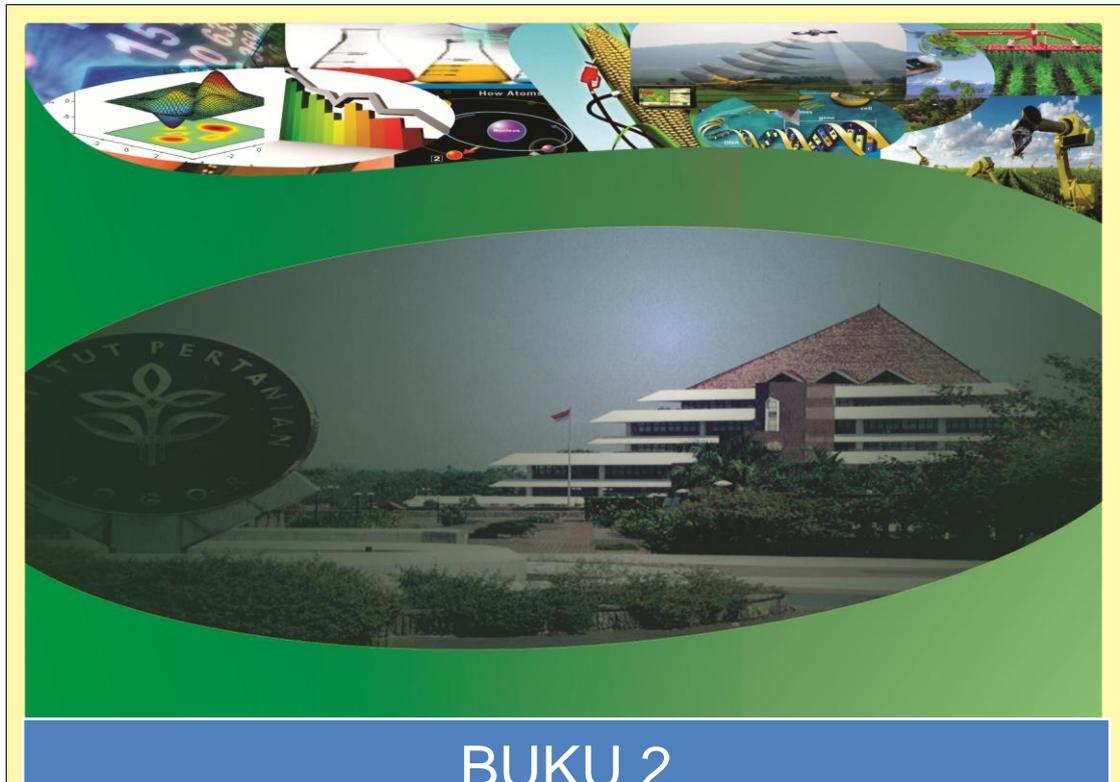
- [8] Menhryar, Nooriafshar, 2008. Use of Web-Based multimedia technology in teaching and learning mathematical programming. *Jurnal of Computer in mathematics and science teaching*. 21 (4), 331-339.
- [9] Sriyanti, Ida., 2010. e:Kamus : Alternatif Media Pembelajaran di Perguruan Tinggi. Prosiding Seminar Nasional IPA dan Fisika, ITB, Tanggal Juni di Bandung.

ISBN : 978-979-95093-8-3

PROSIDING

Seminar Nasional Sains V

Sains Sebagai Landasan Inovasi dalam Bidang Energi, Lingkungan dan Pertanian Berkelanjutan



BUKU 2
Geofisika dan Meteorologi, Biologi, Kimia,
Biokimia

Diterbitkan Oleh :



Institut Pertanian Bogor
**Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam**

ISBN: 978-979-95093-8-3

Seminar Nasional Sains V

10 November 2012

Sains Sebagai Landasan Inovasi dalam Bidang Energi, Lingkungan dan Pertanian Berkelanjutan

Prosiding

Dewan Editor

Dr. Kiagus Dahlan
Dr. Sri Mulijani
Dr. Endar Hasafah Nugrahani
Dr. Suryani
Dr. Anang Kurnia
Dr. Tania June
Dr. Miftahudin
Dr. Charlena
Dr. Paian Sianturi
Sony Hartono Wijaya, M Kom
Dr. Tony Ibnu Sumaryada
Waras Nurcholish, M Si.
Dr. Indahwati
Drs. Ali Kusnanto, M Si.



Copyright© 2012
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
Prosiding Seminar Nasional Sains V ” Sains Sebagai Landasan Inovasi dalam Bidang Energi,
Lingkungan dan Pertanian Berkelanjutan ” di Bogor pada tanggal 10 November 2012
Penerbit : FMIPA-IPB, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680
Telp/Fax: 0251-8625481/8625708
<http://fmipa.ipb.ac.id>
Terbit 28 November 2012
xi + 905 halaman
ISBN: 978-979-95093-8-3.

KATA PENGANTAR

Seminar Nasional Sains adalah kegiatan rutin yang diselenggarakan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor sejak Tahun 2008. Tahun ini adalah penyelenggaraan yang ke-5, dengan tema “Sains Sebagai Landasan Inovasi dalam Bidang Energi, Lingkungan dan Pertanian Berkelanjutan”.

Kegiatan ini bertujuan mengumpulkan peneliti-peneliti dari berbagai institusi pendidikan dan penelitian baik perguruan tinggi maupun lembaga-lembaga penelitian dari seluruh Indonesia untuk memaparkan hasil-hasil penelitian terkait penerapan sains (statistik, biosains, klimatologi, kimia, matematika, ilmu komputer, fisika, dan biokimia) pada peningkatan produktivitas pertanian dalam arti luas. Seminar Nasional Sains V ini akan diikuti oleh lebih dari 200 orang peserta dengan sekitar 80 peserta sebagai pemakalah pada sesi presentasi paralel yang berasal dari berbagai perguruan tinggi dan lembaga penelitian di Indonesia.

Diharapkan dari kegiatan ini dapat memberikan informasi perkembangan sains, memicu inovasi-inovasi teknologi yang berlandaskan sains, meningkatkan interaksi dan komunikasi antar peneliti, pemerhati, dan pengguna sains dan teknologiserita menjalin kerjasama riset dan penerapan sains dan teknologi antar peneliti, pemerhati, dan pengguna sains dan teknologi khususnya yang terkait dengan peningkatan produktivitas pertanian.

Pantia mengucapkan selamat mengikuti seminar, semoga memberikan manfaat sebesar-besarnya.

Bogor, November 2012

PANITIA

DAFTAR ISI BUKU 1

			Hal
	Kata Pengantar		iv
	Daftar Isi		v
<i>Bidang : Statistika</i>			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Andzar Syafa'atur Rahman, Hari Wijayanto, Noer Azam Achsani, La Ode Abdul Rahman	Penerapan <i>Fuzzy C-Regression</i> dalam Pendugaan Model Nilai Tanah (Studi Kasus : Lima Kecamatan Di Kota Bekasi)	3-12
2	I Dewa Gede Richard Alan Amory, Muhammad Nur Aidi, Etih Sudarnika	Penerapan Fungsi Diskriminan dalam Deteksi Dini Penentuan Status Mastitis Subklinis pada Sapi Perah (Studi Kasus : Kawasan Usaha Ternak Cibungbulang, Kabupaten Bogor Tahun 2010-2011)	13-23
3	Nurul Qomariasih, I Made Sumertajaya, Sutoro	Analisis Ragam Daya Gabung dan Resiprokal Bobot Biji Jagung dalam Persilangan Dialel Lengkap	24-34
4	Astri Fitriani, Yenni Angraini, Asep Saefuddin	Analisis Spasial Data Panel pada Pola Konsumsi per Kapita Propinsi Jawa Barat dengan Pendekatan Matriks <i>Queen Contiguity</i> dan Akses Jalan	35-48
5	Bimandra Adiputra Djaafara, Anik Djuraidah, Aji Hamim Wigena	Deteksi Gerombol dengan Metode K-Rataan Kernel Gauss	49-62
6	Dwi Haryo Ismunarti	Sudut Minimum Antar Sub Ruang Vektor untuk Memelajari Asal Sedimen Di Perairan Rebon Kabupaten Batang Jawa Tengah	63-72
7	Mia Amelia, Muhammad Nur Aidi, Dian Kusumaningrum	Penerapan Regresi Logistik Spasial untuk Data Penyakit Demam Berdarah Dengue (Dbd) Di Kota Bogor	73-81
8	Nuril Anwar, Anang Kurnia, Yenni Angraini	Pemodelan Tingkat Pengangguran Di Lima Negara Anggota Asean Dengan Regresi Data Panel dan <i>Generalized Estimating Equation</i>	82-93
9	Gusti N.A. Wibawa, Aunuddin, A.A. Mattjik, I M Sumertajaya	Pengaruh Ulangan Terhadap Dugaan Parameter Model Ammi dengan Komputasi Menggunakan Pendekatan Bayes	94-106
10	Didin Saepudin, Asep Saefuddin	Regresi Poisson Terboboti Geografis untuk Menganalisis Data Gizi Buruk (Studi Kasus: Pulau Jawa tahun 2008)	107-121
11	Mulya Sari, Hari wijayanto, Yenni	Pemodelan Produksi Cabe Di Kabupaten Majalengka dengan Regresi Polinom	122-134

	Angraini		
12	Anita Pratiwi, Anang Kurnia, La Ode Abdul Rahman	Pendugaan Total Populasi pada Peubah dengan Sebaran Lognormal (Studi Kasus: Data Susenas 2007 Pengeluaran Rumah Tangga Kota Bogor)	135-149
13	Anni Fithriyatul Mas'udah, Anang Kurnia, Dian Kusumaningrum	Metode Regresi <i>Least Trimmed Squares</i> pada Data yang Mengandung Pencilan	150-161
14	Mohammad Masjukur	Model Spasial Percobaan Pemupukan Padi Sawah	162-170
15	Nur Hikmah, Yenni Angraini, Asep Saefuddin	Pemodelan tingkat produk domestik regional bruto kabupaten/kota jawa barat dengan spasial data panel	171-185

Bidang : Matematika

No.	Penulis	Judul	Hal
1	Hamzah Upu	Proses Pengembangan Perangkat Pembelajaran Matematika Bertaraf Internasional	189-203
2	M. W. Talakua, F. Y. Rumlawang, F. Kondo Lembang dan G. Loupatty	Pereduksian dimensi data luaran gcm stasiun ambon dengan menggunakan metode <i>principal component analysis</i> (pca)	204-212
3	Nur Aprianti Dwiyatcita, Farida Hanum, Toni Bakhtiar	Penjadwalan Kereta Api Jalur Ganda: Model Job-Shop dan Aplikasinya	213-223
4	Nurus Sa'adah, Toni Bakhtiar, Farida Hanum	Penerapan Prinsip Maksimum Pontryagin pada Sistem Inventori-Produksi	224-235
5	Muhammad Ilyas, Mieko Yamada, Edy Tri Baskoro	Daftar Lengkap Katakode GEH dengan Bobot Lee Minimum atas Ring Galois	236-245
6	Embay Rohaeti, Jaharuddin, Ali Kusnanto	Penggunaan Metode Homotopi Pade' Untuk Menyelesaikan Masalah Lotka–Volterra Logistik	246-257
7	Dewi Senja Rahmahwati, Ali Kusnanto, Jaharuddin	Analisis Kestabilan Model Infeksi Virus Hepatitis B dengan Pertumbuhan Hepatosit yang Bersifat Logistik	258-270
8	Jacob Stevy Seleky, Endar H. Nugrahani, I Gusti Putu Purnaba	Pengaruh Dividen Terhadap Penentuan Nilai Opsi Saham Tipe <i>Up-and-Out Call</i> di Bursa Efek Indonesia	271-282
9	Nurul Khotimah, Farida Hanum, Toni Bakhtiar	Penerapan <i>fuzzy goal programming</i> dalam penentuan investasi bank	283-292
10	Maya Widyastiti, Farida Hanum, Toni Bakhtiar	Implementasi <i>fleet size and mix vehicle routing problem with time windows</i> pada pendistribusian koran	293-302
11	Jose Bonatua	Modifikasi Model <i>Exponentially Weighted Moving</i>	304-314

	Hasibuan, Endar H. Nugrahani, I Gusti Putu Purnaba	<i>Average</i> Untuk Menduga Volatilitas Saham Di Bursa Efek Indonesia	
12	Endar H. Nugrahani	Penyelesaian masalah nilai batas pada model opsi <i>put</i> amerika dengan volatilitas stokastik	315-322
13	Bib Paruhum Silalahi	Batas Atas Iterasi metode titik Interior dengan Central Path dalam menyelesaikan masalah optimasi linear	323-332

Bidang : Ilmu Komputer

No.	Penulis	Judul	Hal
1	I. Widyastuti, S. H. Wijaya	Penentuan Rute Optimum Dalam Supply Chain Network dengan Algoritma Ant Colony untuk Kota Dan Kabupaten Bogor	335-345
2	Jaidan Jauhari, Abdiansah	Analisis Dan Perancangan <i>Intelligent Tutoring System</i> (Its) Menggunakan <i>Case Based Reasoning</i> Sebagai Upaya Inovatif Untuk Pembelajaran Pemrograman Komputer	336-358

Bidang : Fisika

No.	Penulis	Judul	Hal
1	Novizal, Eva Ridiwati, Kemas A. Zaini Thosin	Analisis Hasil Pelapisan Coni Pada Subtrat Baja St 37 Dengan Kombinasi Metode Deposisi Elektroplating Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (Sem)	361-370
2	M. N Indro, H. Wiranata, and S.G. Sukaryo	Hardness and Corrosion Rate of CoCrMo	371-376
3	M. Dirgantara, M. Saputra, P. Aulia, Z. Deofarana, B. Setiadi, H. Syafutra, A. Kartono	Simulasi sel surya model dioda dengan hambatan seri dan hambatan <i>shunt</i> berdasarkan variasi intensitas radiasi, temperatur, dan susunan modul	377-386
4	Faozan Ahmad, Zuliyatin, Husin Alatas	Dinamika soliton pada rantai protein alpha heliks berdasarkan ansatz ii model davydov	387-396
5	Elvan Yuniarti, Siti Ahmiatri Qolby Sabrina	Kajian sifat optik glukosa darah	397-404
6	Tony Sumaryada, Heriyanto Syafutra, Robi Sobirin, Ajeng Widya Roslia	Simulasi awal perancangan sel surya <i>double junction</i> gaas/ge	405-415
7	Ajeng Widya Roslia, Tony Sumaryada	Pengaruh <i>surface texturing</i> germanium (ge) dan silikon (si) pada disain sel surya menggunakan program pcid	416-425
8	Leni Marlina, Ida Sriyanti, Feri Iskandar dan Khairurrijal	Pengaruh waktu <i>hot-pressing</i> terhadap kekuatan tekan material nanokomposit	426-436
9	Ida Sriyanti	Pengembangan elektronik kamus untuk mata kuliah fisika dasar	437-447

DAFTAR ISI BUKU 2

			Hal
	Kata Pengantar		iv
	Daftar Isi Buku 1		v
	Daftar Isi Buku 2		viii
<i>Bidang : Geofisika dan Meteorologi</i>			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Sonni Setiawan dan Sandro Welyanto Lubis	Identifikasi Gelombang Kelvin Atmosfir Ekuatorial Di Indonesia Berbasis Data Ncep/Ncar Reanalysis I	451-463
2	Andi Syahid Muttaqin, Ahmad Bey	Potensi Pemanfaatan Keluaran Model NWP Untuk Prediksi Cuaca Jangka Pendek (Studi Kasus: Pontianak, Pekanbaru, Semarang, Surabaya Dan Palu)	464-476
3	Mirnawati Zulaikha, Bregas Budianto	Analisis Data Hujan di Beberapa Wilayah Sungai Jawa Bagian Barat	477-486
4	Fella Fauziah Hermayana, Ahmad Bey	Kajian Atmosfer Bawah Wilayah Tropis Dan Subtropis	487-496
5	Tania June	Pendekatan mikrometeorologi untuk pendugaan neraca karbon hutan: sistem korelasi <i>eddy</i>	497-504
6	Akfia Rizka Kumala, Yon Sugiarto	Analisis Pengaruh Curah Hujan Terhadap Produktivitas Garam Studi Kasus: Pegaraman I Sumenep Pt. Garam (Persero)	505-514

<i>Bidang : Biologi</i>			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Wirdhatul Muslihatin, Ruspeni Daesus	Pengaruh Panjang Hari Penyinaran Terhadap Pertumbuhan Dan Pembungaan Rosela (<i>Hibiscus Sabdariffa</i> Linn.)	517-525
2	Rugayah dan Sugiarno	Upaya Peningkatan Keberhasilan Penyetekan Sirih Merah Melalui Penggunaan Zat Pengatur Tumbuh dan Jumlah Buku pada Dua Jenis Media Tanam	526-534
3	Tri Dewi Andalasari, Y C Ginting, Sri Rama Diana, Nova Rina Firzayanti	Pengaruh Pembelahan Subang Terhadap Produksi Bunga Dan Subang Gladiol (<i>Gladiolus Hybridus</i> L.) Kultivar Holland Putih Dan Holland Pink	535-543
4	Mukh Syaifudin, Siti Nurhayati, Teja Kisnanto dan Gideon Sirait	Studi transfer parasit rodensia <i>plasmodium berghei</i> iradiasi dari induk ke anak mencit <i>swiss webster</i> melalui penyusuan	544-552
5	Ence Darmo Jaya Supena, Ikra Nugraha, Dorly	Penggandaan Krom osom Jati (<i>Tectona grandis</i> L.) dengan Oryzalin dalam Kultur <i>In Vitro</i> dan Pendugaan Tingkat Ploidi	553-562
6	Srikandi, Lilis Sugiarti, Ahmad Fauzi	Produksi Miselia <i>Trichoderma Harzianum</i> , Rifai Sebagai Inokulan Biofungisida Menggunakan Beberapa Media Alternatif Yang Ekonomis	563-572

Bidang : Kimia			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Rania Vinata, Armi Wulanawati , M Khotib	Sintesis Dan Pencirian Ester Dari Asam Oleat Dan Polioliol Berbasis-Onggok	575-584
2	Buhani, Narsito, Nuryono, dan Eko Sri Kunarti	Penerapan Desorpsi Sekuensial Pada Penentuan Interaksi Ion Cd(Ii) Dengan Adsorben Hibrida Amino-Silika Tercetak Ion	585-593
3	Dyah Iswantini, Bara Taufan S, Novik Nurhidayat, Trivadila	Biosensor Antioksidan Menggunakan Superoksidan Dismutase Secara Elektrokimia: Penentuan Linieritas dan Stabilitas	594-603
4	Rusnadi, Buchari, M. Bachri Amran	Kinetika Adsorpsi Ion Ce^{3+} dengan Mikrokapsul Kalsium Alginat Berisi 1-fenil-3-metil-4-benzoil-5-pirazolon (HPMBP)	604-612
5	Euis Julaeha, Desak Made Malini, Ajeng Diantini	Pengaruh Pemberian Senyawa Antifertilitas C30 Sterol yang Diisolasi dari Daun <i>Clerodendron serratum</i> terhadap viabilitas sel murine RAW 265.7	613-618
6	Evy Ernawati, Solihudin, Iman R, Rosiyyan	Pembuatan Membran Selulosa Asetat Dari Kayu Albasia	619-624
7	Zainuddin Muchtar, Arifista S.W. Harefa	Pembuatan Pulp Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Metode Organosolv	625-639
8	Muhammad Bachri Amran	<i>Palladium Imprinted Polymers</i> sebagai Material Fungsional untuk Pemungutan Palladium dari Biji Besi	640-647
9	Hasnah Natsir, Seniwati Dali, Mahdaliah, Nurlaeli Fattah, Muhammad Nadir	Produksi Protease dari <i>B. lichemiformis</i> HSA3-1a dan Aplikasinya dalam Isolasi Kitin dari Limbah Udang Secara Enzimatis	648-656
10	Henry Setiyanto, Vienna Saraswaty, Rukman Hertadi, Indra Noviandri, Buchari Buchari	Studi Penentuan Reaktivitas Kimia Mekloretamin Menggunakan Metode Voltametri Siklik	657-662
11	<u>Leny Heliawati</u> , Tri Mayanti, Agus Kardinan, Rukmiati K Cokronegoro	Uji Toksisitas Ekstrak Buah Gwang (<i>Corypha utan</i> Lamk.) terhadap Larva Udang <i>Artemia salina</i> leach	663-669
12	Muhammad Ali Zulfikar , Novi Srawaili	Penggunaan Biji Kelor (<i>Moringa Oliefera</i>) Untuk Menurunkan Kadar Mangan Dalam Air	670-676
13	Charlena, Henny Purwaningsih, Rahmat Hafid	Fosfatisasi Kalsium Karbonat Cangkang Telur Ayam Dan Kajiannya Pada Proses Adsorpsi Logam Timbal	677-692
14	Harjo' Purwantiningsih	Sintesis Polioliol Sebagai Bahan Dasar Pembentuk	693-704

	Sugit and Zainal Alim Mas'ud	Poliuretan Berbasis Minyak Jarak Pagar	
15	Charlena, Zainal Alim, Abdul Haris, Fajar Kurniawan	Bioremediasi Senyawa Hidrokarbon Pada Tanah Tercemar Limbah Minyak Berat Menggunakan Teknik <i>Landfarming</i>	705-715
16	Sri Sugiarti	Studi Kondisi Reaksi Kopling Silang Heck Menggunakan Katalis POP-Paladium	716-725
17	Tetty Kemala, Ahmad Sjahriza, Guslina Isriany	Optimasi dan Evaluasi Mikroenkapsulasi Medroksiprogesteron Asetat Tersalut Poli(ϵ -kaprolakton) dengan Lilin Lebah	726-737
18	Miksusanti, Zainal Fanani, Ahmad Rizal	Kajian Kinetika Reaksi Perubahan Warna Campuran Pigmen Rosella, Manggis dan Secang	738-750
19	Herlina, Ferlina Hayati, Christin	Isolasi Steroid dari Daun Tanaman Daun Dewa (<i>Gynura pseudochina</i> (Lour) DC) dan Aktivitas sebagai Antibakteri	751-762
20	Mohammad Khotib, Zainal Alim Mas'ud, Anwar Nur, Widiyanto	Superabsorben Hasil Pencangkokan dan Penautan Silang Fraksi Onggok dengan Akrilamida	763-773
21	Ricson Pemimpin Hutagaol, S.Si., M.Si; Asteria Aviana dan Betalini Widhi Hapsari, SP., M.Si	Regenerasi secara <i>invitro</i> dengan perlakuan sitokinin dan uji fitokimia <i>tacca leontopetaloides</i>	774-783
22	Darwati, Anni Anggraeni, dan Sri Adi Sumiwi	Uji toksisitas akut dari ekstrak etanol kukit batang ,buah, dan kulit akar asam kandis (<i>garcinia cowa roxb.</i>)	784-792
23	Dwi Sandri, Fatimah, Jaka Darma Jaya	Verifikasi Residu Pestisida dan Profil Bakteri yang Berpotensi Mendegradasi Pestisida di Lahan Pertanian Jagung Kecamatan Kurau, Kabupaten Tanah Laut.	793-801
24	Edy Chandra	Filosofi Zat Dan Materi Menurut Jabir Bin Hayyan (Aspek Kimiawi Dari Studi Filosofis Terhadap Naskah <i>Mukhtâr Rasâ`Il</i>)	802-821

Bidang : Biokimia			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Florentina Maria Titin Supriyanti, Adhytia Ichsan Rachmawan	Fortifikasi Protein Dari Kacang Hijau (<i>Vigna Radiata</i>) Pada Produksi Sereal Berbahan Baku Ubi Jalar (<i>Ipomoea Batatas</i>) dan Analisis Kandungan Gizinya	825-833
2	Waras Nurcholis, Hilmanie Ramadhan, Anna P Roswiem	Analisis Inhibisi Enzim α -glukosidase dan Sitotoksitas Ekstrak Air-Etanol Benalu Jeruk (<i>Loranthus</i> sp.)	834-838
3	Sulistiyani, Esti Sahifah, Shelly Rahmania, Husnawati	Studi <i>in vivo</i> khasiat antiinflamasi ekstrak herba suruhan (<i>peperomia pellucida</i> [1]) dan campurannya dengan jahe merah (<i>ZINGIBER OFFICINALE</i> ROSC.)	839-847

<i>POSTER Bidang Kimia</i>			
No.	Penulis	Judul	Hal
1	Nurul Ichsan, Eti Rohaeti , Rudi Heryanto	Destruksi Unsur Tanah Jarang dari Limbah Pengolahan Timah Menggunakan Mikrowave Sederhana	851-859
2	Nadya Ayu Denitasari, Armi Wulanawati, Henny Perwaningsih	Briket Ampas Sagu Sebagai Bahan Bakar Alternatif	860-875
3	Upik Kesumawati, Dyah Iswantini, Min Rahminiwati, Rosihan Rosman, Agus Sudiman T	Budidaya dan Formulasi Kamandrah (<i>Croton tiglium</i> L.) Sebagai Larvasida Hayati Pencegah Demam Berdarah Dengue	876-883
4	Betty Marita Soebrata, S Mulijani, Charisna Desita Shinta Sani	<i>Nata de Cassava</i> Dari Limbah Cair Tapioka Sebagai Membran Selulosa Asetat	884-893
5	Ahmad Sjahriza, Sri Sugiarti, Niken Pratiwi	Ekstraksi Karaginan dari Rumput Laut <i>Eucheuma cottonii</i> Menggunakan Dua Metode Ekstraksi	894-905

Geofisika dan Meteorologi

IDENTIFIKASI GELOMBANG KELVIN ATMOSFIR EKUATORIAL DI INDONESIA BERBASIS DATA NCEP/NCAR REANALYSIS I

Sonni Setiawan^{1*} dan Sandro Welyanto Lubis²

^{1,2} Departemen Geofisika dan Meteorologi, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
E-mail: sonni_prmt@yahoo.com

Abstrak

Gelombang Kelvin diidentifikasi pada lapisan tropopause dan stratosfer-bawah Indonesia dengan menggunakan teknik transformasi Fourier dari komponen angin zonal dan angin meridional. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh belum lengkapnya kajian terkait bukti keberadaan dan perilaku gelombang Kelvin, yang meliputi propagasi, struktur, periodisitas dan interaksinya dengan tipe-tipe osilasi atmosfer khatulistiwa di Indonesia. Hasil analisis spektral dan analisis distribusi energi kinetik (EK) angin horizontal pada lapisan tropopause, menunjukkan bahwa gelombang Kelvin di Indonesia Bagian Barat (IBB) muncul pada periode 15 harian ($2\pi/\omega$, *groundbase*) dalam periode pengamatan I (observasi pada periode 1 Januari- 30 Maret yang berasosiasi dengan musim basah monsun) dan 18 harian pada periode pengamatan III (observasi pada periode 29 Juni-26 September berasosiasi dengan musim kering monsun). Di Indonesia Bagian Tengah (IBTA), gelombang Kelvin hanya ditemukan pada periode 12,9-18 harian dalam pengamatan I. Sementara di kawasan Indonesia Bagian Timur (IBT), gelombang ini muncul pada periode 10-12, 9 harian pada periode pengamatan I dan 15-18 harian pada periode pengamatan III. Kehadiran gelombang Kelvin pada periode II dan IV tidak jelas teramati di Indonesia. Respon EK pada osilasi gelombang Kelvin 10-18 harian akan muncul ketika fenomena monsun menguat di troposfer Asia Tenggara. Pada lapisan stratosfer-bawah Indonesia, aktifitas gelombang Kelvin hanya terjadi secara signifikan pada periode pengamatan I dengan kisaran periode rata-rata 15-18 harian.

Kata kunci: Gelombang Kelvin, periodisitas, propagasi.

1 PENDAHULUAN

Gelombang Kelvin adalah gelombang planeter atmosfer yang dibangkitkan oleh osilasi pada pola pemanasan konvektif skala luas di lapisan troposfer ekuatorial [1, 2]. Gelombang ini ditemukan oleh Wallace dan Goussy [3] pada pengamatan angin zonal di atas samudera Pasifik Barat pada koordinat 90° LU dan 80° BT, 110° LU dan 61° BT, dan 90° LU dan 168° BT. Gelombang ini bergerak ke arah timur (*westerly*), dengan periode 12-15 harian dan tertangkap pada ketinggian stratosfer bawah 80-20 mb [2, 3, 4, 5]. Pengamatan lainnya dilakukan oleh Dhaka dkk. [6] di atas Samudera Hindia pada tiga titik pengamatan yaitu Trivandrum (8,5° LU, 77° BT), Minicoy (8,3° LU, 73° BT), dan Port Blair (11,7° LU, 92,7° BT). Dhaka *et al* [6] mendeteksi bahwa gelombang Kelvin dapat ditemukan pada ketinggian

16-24 km dengan periode 12-16 harian, merambat ke arah timur dan berpropagasi ke bawah dan ke atas. Gelombang Kelvin memiliki peran yang sangat penting dalam dinamika atmosfer tropis. Gelombang ini diduga sebagai pemicu terjadinya fenomena Madden Julian Oscillation (MJO) dan ikut berperan dalam proses pembangkitan fenomena Quasi Biennial Oscillation (QBO). Holton [2] menjelaskan lebih lanjut bahwa bangkitnya fenomena QBO disebabkan oleh adanya sumbangan momentum yang dihasilkan oleh gelombang Kelvin dan gelombang Rossby-gravity yang berimplikasi terhadap variasi angin zonal quasi dua tahunan pada lapisan stratosfer. Penelitian terbaru oleh Noersomadi [7] mengungkapkan bahwa peningkatan energi potensial dan energi kinetik propagasi ke bawah gelombang Kelvin akan bertindak sebagai pemicu proses konveksi di wilayah tropis.

Berdasarkan informasi di atas, kajian gelombang Kelvin ekuatorial sangat penting untuk dipelajari, khususnya di Indonesia yang berada di sepanjang pita ekuator dimana peristiwa konvektif sangat intensif terjadi. Selain itu, pemahaman terkait gelombang Kelvin di Indonesia akan membantu analisis pola variabilitas iklim yang terjadi di Indonesia atau dengan kata lain meningkatkan *skill analysis* dinamika atmosfer tropis Indonesia. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nababan [8] dan Ningrum [9] telah menjelaskan bagaimana struktur horizontal dan vertikal gelombang Kelvin di Indonesia Bagian Barat (10o LU- 10o LS dan 100o BT- 105o BT) namun belum menjelaskan karakter gelombang tersebut secara menyeluruh di atas lapisan tropopause dan stratosfer bawah Indonesia (Indonesia Bagian Tengah dan Timur). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis karakter gelombang Kelvin secara menyeluruh pada lapisan tropopause dan stratosfer-bawah Indonesia. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendorong penelitian-penelitian gelombang atmosfer ekuatorial lainnya karena penelitian di lintang tengah mengindikasikan bahwa ekuator adalah generator atau dinamo atmosfer global.

2 METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data NCEP/NCAR Reanalysis I dalam interval enam jam yang diperoleh dari pengamatan NOAA Januari hingga Desember 2008, pada level ketinggian 30 mb dan 100 mb. Data dikelompokkan menjadi empat periode pengamatan yaitu periode I (1 Januari-30 Maret berasosiasi dengan musim basah monsun), periode II (31 Maret-28 Juni), periode III (29 Juni-26 September berasosiasi dengan musim

kering monsun), dan periode IV (27 September-25 Desember). Pembagian data dengan panjang periode 90 harian ini bertujuan untuk melihat variasi gelombang dalam empat musim (basah, kering dan transisi I, II), menghilangkan trend *high-frequency oscillation* atau osilasi atmosfer dengan frekuensi yang lebih besar dan menghindari data yang hilang pada saat dilakukan analisis spektrum. Objek kajian meliputi seluruh wilayah tropopause dan stratosfer-bawah Indonesia yang dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu Indonesia Bagian Barat pada posisi pita ekuatorial 10°LU-10°LS dan 100°BT (IBB), Indonesia Bagian Tengah pada posisi pita ekuatorial 10°LU-10°LS dan 115°BT (IBTA), dan Indonesia Bagian Timur pada posisi pita ekuatorial 10°LU-10°LS dan 130°BT (IBT).

Analisis spektral digunakan untuk melihat periode setiap gelombang yang tersembunyi atau mengestimasi fungsi densitas spektrum dari sebuah data stokastik. Secara definisi, jika X_t adalah proses stokastik dengan fungsi autokovarians $\gamma(k)$ dengan $k = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$, maka spektrum $f(\omega)$ adalah transformasi Fourier dari fungsi autokovarians

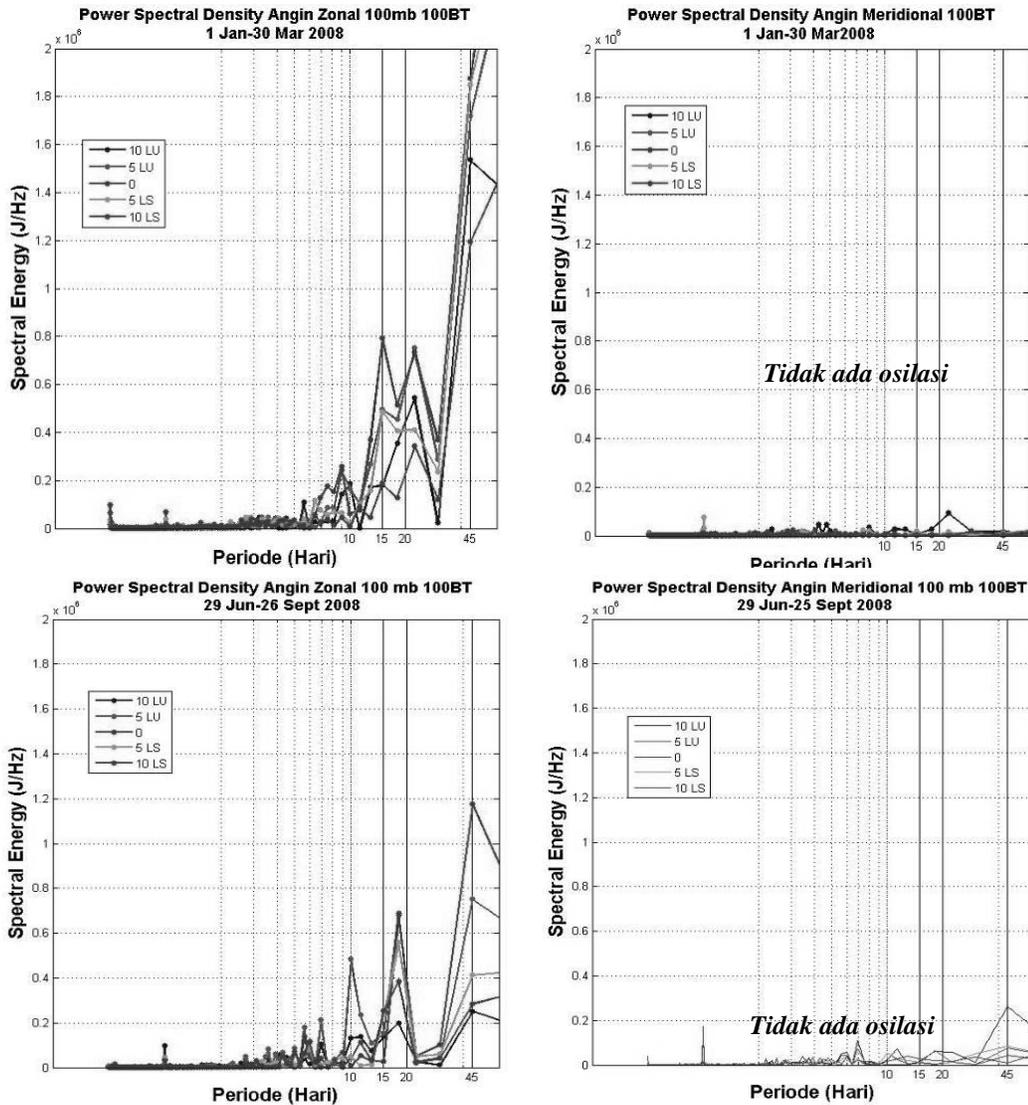
$$f(\omega) = \frac{1}{\pi} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \gamma_k e^{-i\omega k} \quad (1)$$

Bentuk diatas adalah bentuk transformasi umum yang dapat diaplikasikan dan dipakai untuk bilangan kompleks dalam satu runtun waktu.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Struktur Horizontal Gelombang Kelvin di Lapisan Tropopause Indonesia

Analisis gelombang Kelvin di lapisan tropopause Indonesia dilakukan pada level 100 mb. Nilai periode dominan osilasi gelombang atmosfer 10-20 harian diperoleh dengan meninjau nilai spektra daya pada masing-masing grid pengamatan (Gambar 1). Berdasarkan Tabel 1-4, terdapat indikasi bahwa adanya osilasi 10-20 harian relatif terhadap aliran dasar angin timuran yang menyerupai osilasi gelombang Kelvin di lapisan tropopause Indonesia. Namun ini belum dapat digolongkan sebagai periodisitas gelombang Kelvin, sehingga masih perlu dilakukan analisis peluruhan amplitudo angin zonal (u) dalam spektral terhadap lintang dengan syarat spektra daya harus meluruh secara Gaussian ketika menjauh dari ekuator (Gambar 2).



Gambar 1. *Power Spectral Density* angin zonal dan meridional pada periode I (asosiasi dengan musim basah) dan periode III (asosiasi dengan musim kering) di Wilayah Indonesia Bagian Barat.

Tabel 1. Periode dominan spektra daya dan rata-rata kecepatan angin zonal di lapisan tropopause pada periode I (1 Januari- 30 Maret).

Lintang	Periode gelombang (hari) dan Laju rata-rata angin zonal (m/s)		
	100 ⁰ BT	115 ⁰ BT	130 ⁰ BT
10 ⁰ LU	15; - 10	18; - 10	11,25 ; -10
5 ⁰ LU	15; - 15	18; - 15	11,25 ; -17
EQ	15; - 15	18; - 20	11,25 ; - 20
5 ⁰ LS	15; - 17	12,9; - 25	10 ; - 25
10 ⁰ LS	15; - 20	12,9; - 20	12,9; - 18

Tabel 2. Periode dominan spektra daya dan rata-rata kecepatan angin zonal di lapisan tropopause pada periode III (29 Juni- 26 September).

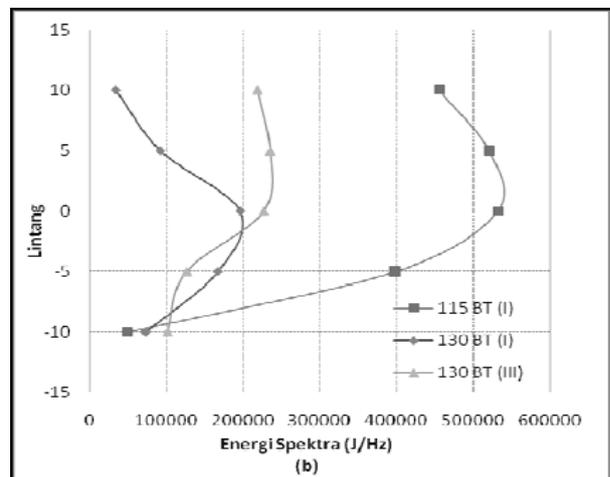
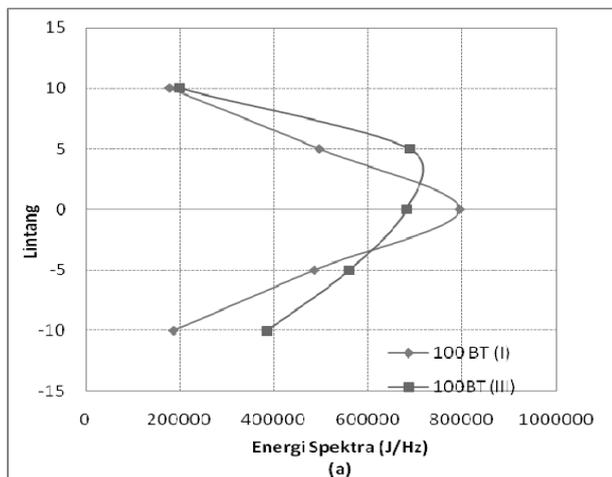
Lintang	Periode gelombang (hari) dan Laju rata-rata angin zonal (m/s)		
	100 ⁰ BT	115 ⁰ BT	130 ⁰ BT
10 ⁰ LU	18; - 25	11,3; - 15	15 ; -15
5 ⁰ LU	18; - 15	11,3; - 10	18 ; -7,5
EQ	18; - 5	11,3; - 5	18 ; - 4
5 ⁰ LS	18; - 5	12,9; - 2,5	18 ; - 3
10 ⁰ LS	18; - 3	12,9; - 2	15; - 2

Tabel 3. Periode dominan spektra daya dan rata-rata kecepatan angin zonal di lapisan tropopause pada periode II (31 Maret- 28 Juni).

Lintang	Periode gelombang (hari) dan Laju rata-rata angin zonal (m/s)		
	100 ⁰ BT	115 ⁰ BT	130 ⁰ BT
10 ⁰ LU	11,3; - 15	11,3; - 10	12,9 ; - 7
5 ⁰ LU	11,3; - 14	10; - 10	12,9 ; - 5
EQ	11,3; - 10	12,9; - 6	15 ; - 5
5 ⁰ LS	18; - 8	15; - 5	15 ; - 5
10 ⁰ LS	15; - 5	18; - 2	15; - 2

Tabel 4. Periode dominan spektra daya dan rata-rata kecepatan angin zonal di lapisan tropopause pada periodeIV (27 September- 25Desember).

Lintang	Periode gelombang (hari) dan Laju rata-rata angin zonal (m/s)		
	100 ⁰ BT	115 ⁰ BT	130 ⁰ BT
10 ⁰ LU	15; - 12	15; - 10	15 ; -8
5 ⁰ LU	18; - 10	15; - 10	18 ; -7,5
EQ	15; - 7	12,9; - 8	18 ; - 6
5 ⁰ LS	15; - 5	12,9; - 8	12,9 ; - 7,5
10 ⁰ LS	18; - 3	12,9; - 5	11,3; - 5



Gambar 2. Peluruhan amplitudo angin zonal (u) dalam spektral terhadap meridional yang berasosiasi dengan keberadaan gelombang Kelvin.

Dari hasil analisis ini (Gambar 2), maka osilasi 10-20 harian yang dapat digolongkan sebagai gelombang Kelvin adalah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Periodisitas gelombang Kelvin di lapisan tropopause Indonesia.

Wilayah Kajian	Periode gelombang (hari)			
	I	II	III	IV
IBB	15	-	18	-
IBTA	12,9 – 18*	-	-	-
IBT	10 – 12,9*	-	15 – 18*	-

* Bervariasi dalam lintang 10°LU-10°LS

Gelombang Kelvin pada periode I hadir pada saat aliran dasar angin timuran bertambah kearah selatan sedangkan kehadiran gelombang Kelvin pada periode III bersamaan dengan bertambahnya angin timuran ke arah utara. Secara teoritis laju fasa gelombang (c) merupakan fungsi dari rata-rata kecepatan angin zonal, dalam perspektif teoritis seharusnya jika rata-rata kecepatan angin zonal bertambah besar maka nilai dari pangkat eksponensial komponen amplitudo angin zonal juga akan bertambah besar ketika berada tepat di ekuator dan berkurang dalam satu lintang ketika bergerak menjauhi ekuator, namun berbeda halnya dengan pengamatan ini. Variasi \bar{u} dalam arah meridional tidak mengubah distribusi amplitudo gelombang Kelvin secara meridional di periode I, begitu pula pada periode lainnya. Hal ini terkait dengan karakter gelombang Kelvin yang diamati di Indonesia yang bersifat tidak bebas atau dipengaruhi oleh sumber pemicunya (*forced waves*) sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui faktor penyebabnya.

Secara umum untuk kajian tropopause Indonesia Bagian Barat (IBB), pada musim basah (Periode I), gelombang Kelvin memiliki energi yang lebih tinggi dibandingkan pada saat musim kering (Periode III) (gambar 1). Rata-rata nilai energi spektra gelombang Kelvin pada periode I adalah 2348×10^5 Joule dan periode III adalah 1953×10^5 Joule. Hal ini terjadi karena pada saat musim basah, *forcing* dari awan-awan konvektif (konveksi awan cumulus skala besar) menghasilkan energi panas laten yang optimum untuk membangkitkan gelombang Kelvin. Energi terbesar terpusat di ekuator dan meluruh ketika menjauhi ekuator. Periode gelombang Kelvin yang teramati pada musim basah adalah 15 harian, sedangkan pada musim kering kehadiran dominan dengan periode 18 harian. Gelombang Kelvin di Indonesia Bagian Tengah (IBTA) hadir dengan periode yang beragam yaitu 12,9-18 harian sedangkan di Indonesia bagian Timur (IBT) gelombang ini hadir pada periode yang lebih pendek yaitu 10-12,9 harian. Pada periode III, kehadiran gelombang Kelvin di Indonesia bagian Tengah tidak teramati dengan jelas dan hanya muncul di Indonesia bagian Timur dengan periode 11,3-18 harian. Efek lokal

yang terdapat di wilayah IBT diduga menjadi salah satu sumber penyebab bangkitnya gelombang Kelvin di wilayah ini.

Pada musim transisi pertama (Periode II) dan kedua (Periode IV) terhadap IBB, osilasi dominan pertubasi angin zonal tidak menunjukkan hadirnya gelombang Kelvin di Indonesia hal ini dikarenakan distribusi energi yang berasosiasi dengan distribusi amplitudo tidak tersebar secara Gaussian relatif terhadap lintang sehingga masih belum dapat dipastikan dengan jelas apakah osilasi dominan angin zonal 10-20 harian ini adalah gelombang Kelvin. Hilang dan munculnya gelombang Kelvin pada masing-masing periode sangat terkait dengan sumber pemicunya. Selain itu, distribusi amplitudo yang mendekati distribusi Gaussian, menunjukkan bahwa arah propagasi dari gelombang adalah baratan (kecepatan fasa positif). Nilai rata-rata energi kinetik (EK) gelombang Kelvin 10-20 harian yang dihitung dengan mengalikan nilai spektra daya dari tabel 1-4 dan pita frekuensinya $\Delta\omega$: $f(t) = \Sigma f(\omega) \Delta\omega$, menunjukkan bahwa EK gelombang Kelvin IBB lebih besar dibandingkan IBTA dan IBT. Tingginya nilai energi ini menunjukkan bahwa intensitas gelombang Kelvin di Indonesia Bagian Barat lebih besar jika dibandingkan dengan keberadaan gelombang Kelvin di Indonesia bagian Tengah dan Timur (lihat Tabel 6).

Tabel 6. Rata - rata energi kinetik 10-20 harian gelombang Kelvin di lapisan tropopause Indonesia.

Wilayah Kajian	Energi Kinetik rata-rata ($\times 10^8$ J)			
	I	II	III	IV
IBB	2,35	-	1,95	-
IBTA	1,79	-	-	-
IBT	0,65	-	0,94	-

3.2. Analisis Struktur Horizontal Gelombang Kelvin di Stratosfer Bawah Indonesia

Analisis gelombang Kelvin di lapisan stratosfer-bawah Indonesia difokuskan pada level 30 mb. Berdasarkan Tabel 7-10 dan analisis peluruhan amplitudo dalam analisis spektral, osilasi 10-20 harian yang dapat digolongkan kedalam osilasi gelombang Kelvin adalah yang terdapat pada periode I (Tabel 11) karena memenuhi syarat keberadaan gelombang Kelvin dimana distribusi amplitudo mendekati distribusi Gaussian di atmosfer.

Pada periode pengamatan I, gelombang Kelvin di IBB memiliki periode 15-18 harian, periode ini sama dengan hadirnya gelombang Kelvin di IBTA. Kehadiran gelombang Kelvin di IBT memiliki periode yang lebih bervariasi terhadap lintang, yaitu 11,3-18 harian. Keunikan gelombang Kelvin di lapisan stratosfer bawah ini adalah

penguatan gelombang Kelvin hanya terjadi pada periode I dan menghilang atau lenyap pada periode II, III, dan IV. Diduga gelombang Kelvin pada level 30 mb yang dibangkitkan pada periode I ini merupakan perluasan dari gelombang Kelvin yang muncul pada lapisan tropopause [6]. Pada periode II, III, dan IV peluruhan energi tidak sesuai atau mendekati teori distribusi energi kinetik terhadap lintang secara meridional.

Jika dianalisis, hilangnya gelombang Kelvin pada periode ini dikarenakan melemahnya angin timuran pada level 30 mb, hal ini dapat dilihat dari Gambar 3 bahwa pada periode II, III, dan IV kekuatan angin yang membangkitkan gelombang Kelvin diredam oleh kekuatan angin baratan. Secara teori jika zonasi atau rata-rata kekuatan angin baratan bertambah maka laju fasa akan berkurang sehingga eksponensial dari perbandingan komponen parameter Rossby dan laju fasa akan berkurang. Hal ini akan mengakibatkan pelemahan amplitudo pertubasi angin zonal yang berasosiasi dengan pelemahan energi kinetik gelombang Kelvin. Jika angin baratan mendominasi maka gelombang Kelvin tidak akan bangkit dengan kata lain angin timuran memberikan energi yang penting untuk terbentuknya gelombang Kelvin.

Tabel 7. Periode dominan spektra daya dan rata-rata kecepatan angin zonal di lapisan stratosfer – bawah Indonesia pada periode I (1 Januari – 30 Maret).

Lintang	Periode gelombang (hari) dan Laju rata-rata angin zonal (m/s)		
	100 ⁰ BT	115 ⁰ BT	130 ⁰ BT
10 ⁰ LU	18; - 6,2	18; - 5,4	15 ; - 6,0
5 ⁰ LU	18; - 6,0	18; - 5,7	11,25 ; -4,2
EQ	15; - 15	18; - 3,9	15 ; - 2,8
5 ⁰ LS	15; - 8,6	15; - 9,5	18 ; - 10,7
10 ⁰ LS	15; - 20,1	15; - 20,1	15; - 21,7

Tabel 8. Periode dominan spektra daya dan rata-rata kecepatan angin zonal di lapisan stratosfer – bawah Indonesia pada periode II (31 Maret – 28 Juni).

Lintang	Periode gelombang (hari) dan Laju rata-rata angin zonal (m/s)		
	100 ⁰ BT	115 ⁰ BT	130 ⁰ BT
10 ⁰ LU	13; - 0,5	18; - 0,1	12,9 ; - 0,4
5 ⁰ LU	12,9; +7,5	11,3; +6,7	18 ; +7,4
EQ	10; + 10	10; +11,3	11,3 ;+12,8
5 ⁰ LS	15; + 7,4	15; + 11,4	15 ; +13,4
10 ⁰ LS	15; + 1,8	15; + 3,8	10; +3,3

Tabel 9. Periode dominan spektra daya dan rata-rata kecepatan angin zonal di lapisan stratosfer – bawah Indonesia pada periode III (29 Jun – 26September)

Lintang	Periode gelombang (hari) dan Laju rata-rata angin zonal (m/s)		
	100 ⁰ BT	115 ⁰ BT	130 ⁰ BT
10 ⁰ LU	15; - 6,3	15; -5,2	12,9 ; -6,5
5 ⁰ LU	15; + 4,4	10; +4,7	15 ; +3,9
EQ	18; +13,7	11,3;+13,5	15 ; +14,4
5 ⁰ LS	15; +14,4	15; +17,5	18 ; +19,1
10 ⁰ LS	15; +9,1	15; +10,4	12,9; +11,0

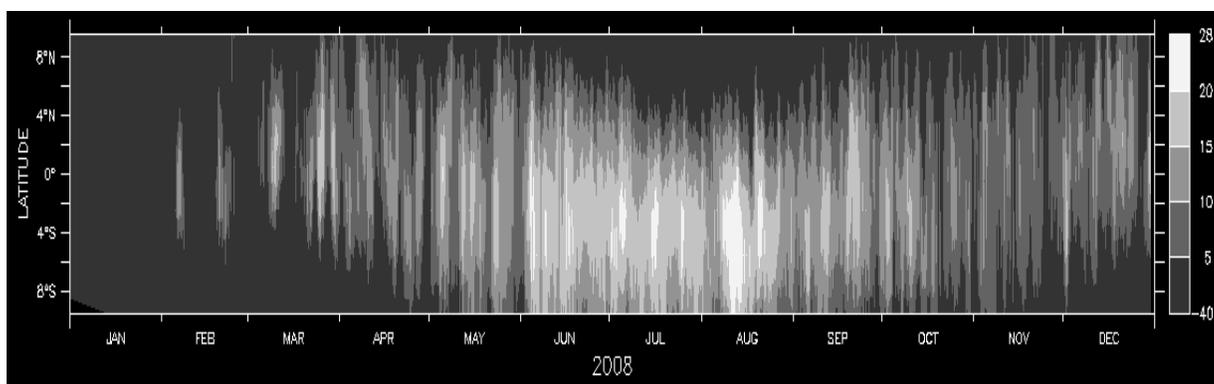
Tabel 10. Periode dominan spektra daya dan rata-rata kecepatan angin zonal di lapisan stratosfer – bawah Indonesia pada periode IV (27 September – 25 Desember).

Lintang	Periode gelombang (hari) dan Laju rata-rata angin zonal (m/s)		
	100 ⁰ BT	115 ⁰ BT	130 ⁰ BT
10 ⁰ LU	15; +1,2	18; - 15	15 ; -0,6
5 ⁰ LU	18; +7,3	15; +6,6	15 ; +6,7
EQ	11, ; +8,7	18; +9,1	18 ; +9,5
5 ⁰ LS	12,9; +6,1	12,9; +7,0	12,9 ; +8,9
10 ⁰ LS	18; - 0,5	18 ; +1,4	12,9 ; +1,0

Tabel 11.
Periodisitas gelombang Kelvin di lapisan stratosfer – bawah Indonesia.

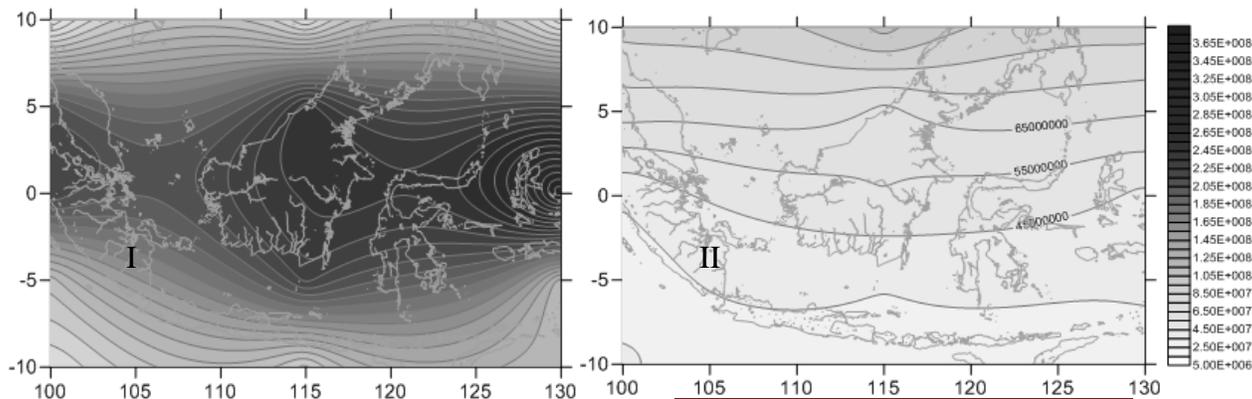
Wilayah Kajian	Periode gelombang (hari)			
	I	II	III	IV
IBB	15 – 18*	-	-	-
IBTA	15 – 18*	-	-	-
IBT	11,3 – 18*	-	-	-

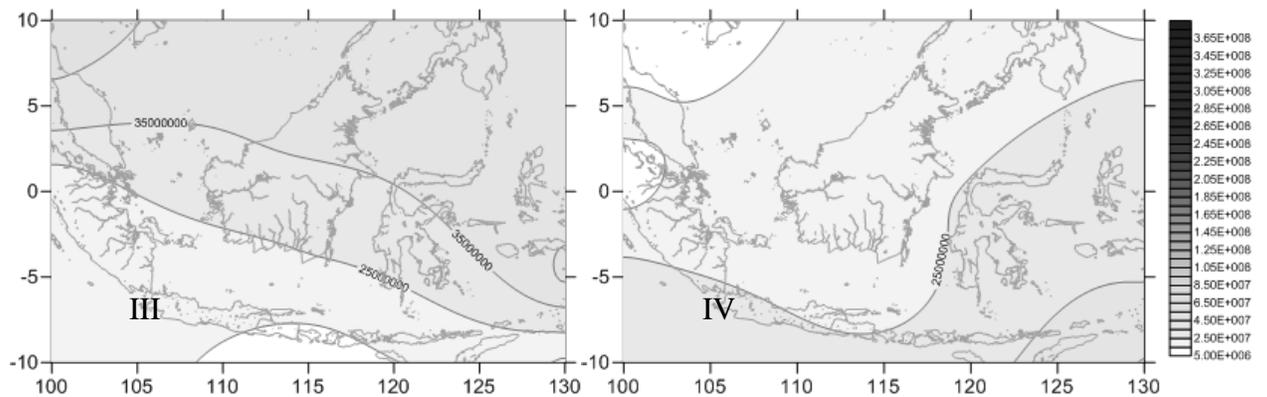
* Bervariasi dalam lintang 10o LU-10o LS



Gambar 3. Rata-rata kecepatan angin zonal 100BT-130BT (m/s) pada periode pengamatan I, II, III, dan IV ketinggian stratosfer bawah (30 hPa).

Distribusi energi kinetik gelombang Kelvin secara horizontal pada ketinggian 30 mb dapat dilihat pada Gambar 4. Pada periode I energi kinetik gelombang Kelvin tertinggi terpusat di sekitar ekuator dan melemah pada lintang lainnya. Pada periode lainnya kehadiran gelombang Kelvin tidak terlihat jelas dan lenyap. Gelombang Kelvin yang hanya muncul pada periode I dan lenyap pada periode II, III, dan IV masih perlu dikaji lebih lanjut lagi.





Gambar 4. Distribusi Energi Kinetik Gelombang Kelvin di lapisan Stratosfer – Bawah (30 hPa) periode 10 – 20 harian.

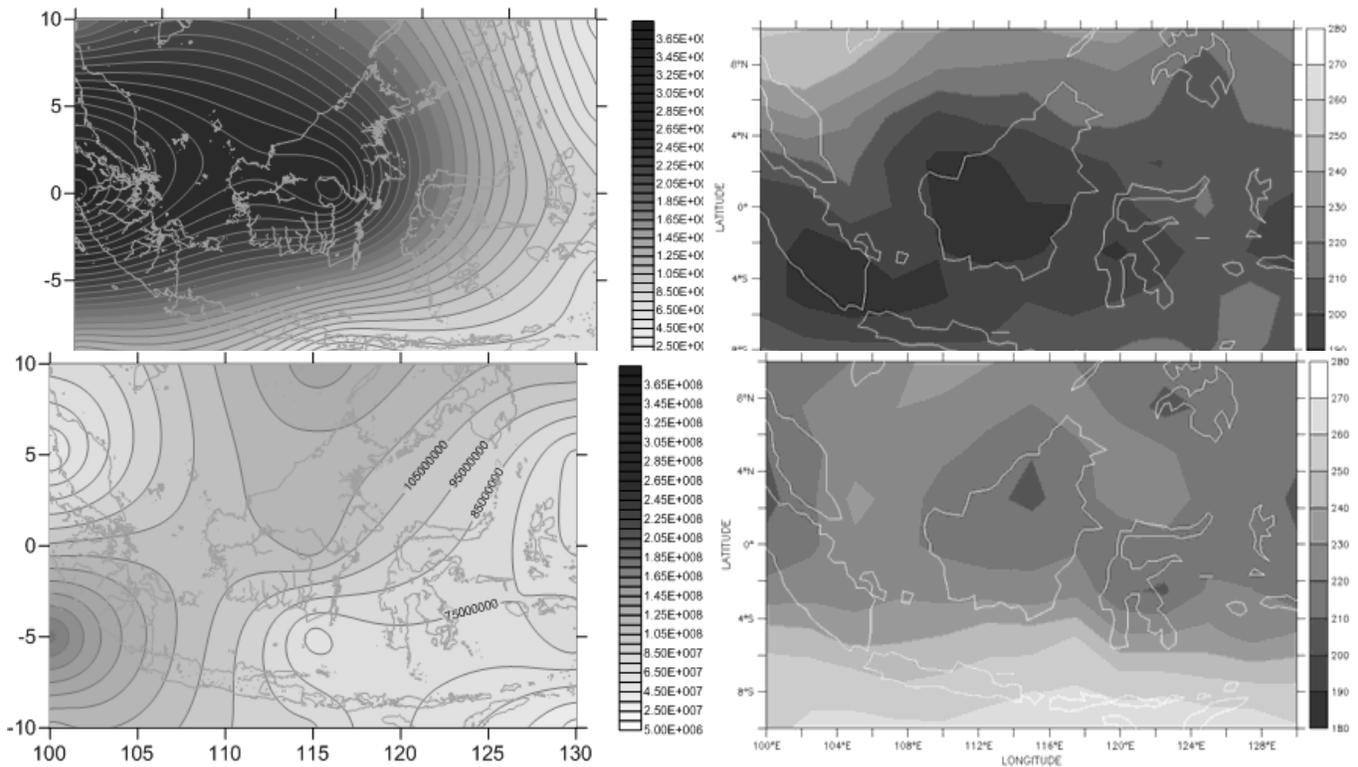
3.3. Respon Gelombang Kelvin terhadap Diabatic Forcing di Tropopause Indonesia.

Gelombang Kelvin dibangkitkan oleh kekuatan diabatik dari awan-awan konvektif skala besar di lapisan troposfer hingga tropopause. Di wilayah ekuator hal ini perlu dikaji karena proses *diabatic heating* dan *laten heat* sangat intensif dan menyumbangkan energi yang besar terhadap pembangkitan gelombang Kelvin. Gelombang Kelvin pada periode 10-20 harian bukan merupakan hasil dari *diabatic forcing* troposfer dalam satu spektral yang sama melainkan merupakan hasil dari *forcing* diabatik yang bersifat *red noise* dalam distribusi spektral. Salah satu contoh dari *red noise* adalah osilasi curah hujan musunal di Asia Tenggara yang dapat memicu kehadiran gelombang Kelvin pada periode lebih dari 10 harian [11].

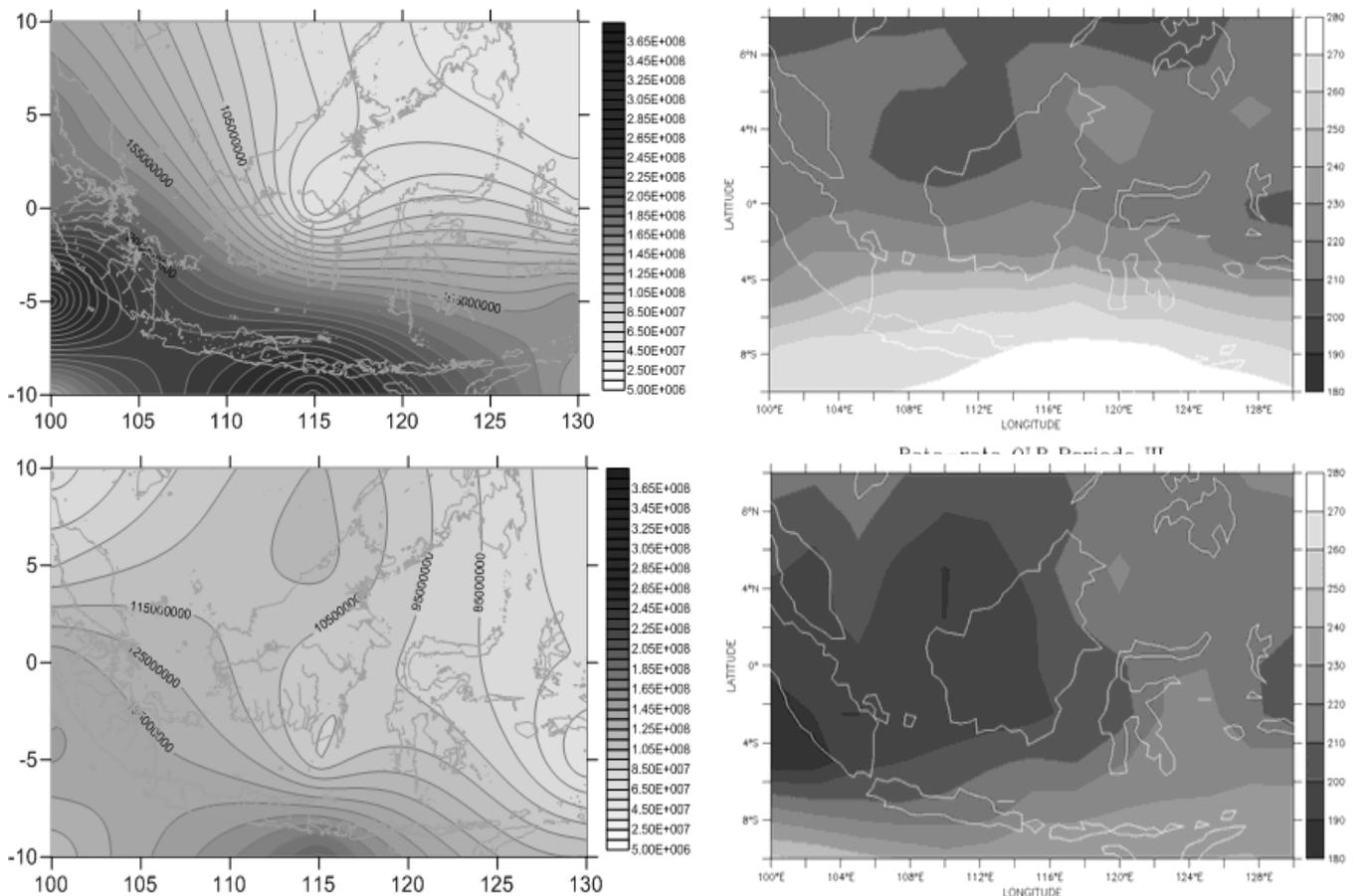
Periode I merupakan periode pada saat terjadinya monsun Asia dimana pada periode tersebut keberadaan awan-awan kumululus skala besar hampir menutupi semua wilayah IBB dan IBTA begitu pula kondisi sebaliknya pada saat monsun Australia di periode III. Penutupan awan akibat efek monsun Asia ini menyediakan energi yang besar untuk bangkitnya Gelombang Kelvin di Indonesia khususnya bagian Barat. Hal ini dibuktikan oleh adanya distribusi energi kinetik (EK) 10-20 harian yang dominan di Indonesia khususnya bagian Barat dan nilai OLR yang rendah pada wilayah ini (Gambar 5). Pada periode III, saat fenomena monsun Australia terjadi, respon energi kinetik gelombang Kelvin 10-20 harian

tampak menguat hanya di sekitar ekuator hingga bagian selatan Indonesia. Kehadiran gelombang Kelvin ini diduga muncul karena adanya energi yang disumbangkan dari pergerakan monsun Australia. Pada periode transisi (II dan IV), respon energi Kinetik gelombang Kelvin tidak tampak begitu besar yang artinya keberadaan gelombang Kelvin pada periode ini tidak terlihat jelas di Indonesia.

Secara umum dapat ditarik kesimpulan bahwa respon energi kinetik gelombang atmosfer 10-20 harian akan muncul pada saat intensitas monsun menguat di Indonesia, dengan kata lain munculnya gelombang Kelvin di Indonesia dengan periode 10-20 harian merupakan respon pada saat terjadinya osilasi musonal di Asia Tenggara khususnya Indonesia. Analisis ini sesuai dengan penemuan sebelumnya yang dilakukan oleh Murakami [11] bahwa osilasi curah hujan musonal di Asia Tenggara dapat memicu kehadiran gelombang Kelvin pada periode lebih dari 10 harian. Namun hubungan fenomena monsun dan penguatan gelombang Kelvin di atmosfer Indonesia, disarankan masih perlu diteliti secara kuantitatif (analisis statistika lanjut) agar diperoleh gambaran yang lebih jelas bagaimana evolusi dan interaksi antara monsun dan gelombang Kelvin mempengaruhi dinamika atmosfer tropis.



Rata-rata OLR Periode II



Gambar 5. Distribusi Energi Kinetik (Joule) Gelombang Kelvin Tropopause 10-20 harian dan Rata-Rata OLR 90 harian (W/m²) pada Periode I, II, III, dan IV (Atas ke bawah).

4 KESIMPULAN

Gelombang Kelvin yang tertangkap di lapisan tropopause Indonesia Bagian Barat (IBB) memiliki periodisitas 15 harian relatif terhadap rata-rata aliran dasar angin timuran - 15,4 m/s pada musim basah (Periode I) dan 18 harian ($\bar{u} = -10,6$ m/s) pada musim kering (Periode III). Energi yang dimiliki gelombang Kelvin pada musim basah lebih besar dibandingkan pada saat musim kering. Di Indonesia Bagian Timur (IBT) gelombang ini hadir dengan periode yang bervariasi 10-12,9 harian ($\bar{u} = -18$ m/s) pada periode pengamatan I dan 15-18 harian ($\bar{u} = -6,3$ m/s) pada periode pengamatan III. Sedangkan pada Indonesia Bagian Tengah (IBTA) gelombang Kelvin hanya hadir pada periode pengamatan I, dengan periode

12,9-18 harian ($\bar{u} = -18$ m/s). Pada lapisan stratosfer bawah Indonesia, gelombang Kelvin hanya teramati pada periode I dengan periodisitas yang bervariasi 15-18 harian (IBB dan IBTA) dan 11,3-18 harian (IBT). Pada periode transisi (II dan IV) kehadiran gelombang Kelvin tidak terlihat jelas teramati di atmosfer Indonesia. Fenomena monsun Asia dan Australia memberikan respon terhadap pembangkitan gelombang Kelvin 10-20 harian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dima, I.M., and J.M. Wallace. *Atmos. Sciences*. 64 (2006): 2862.
- [2] Holton, J.R. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Elsevier Inc, USA, 2004, 4rd Ed., 2004.
- [3] Wallace, J.M., and V.E. Kousky. *Atmos. Sciences*. 25 (1968): 900.
- [4] Holton, J.R., and R.S. Lindzen. *Monthly Weather Review*. 96 (1968): 385.
- [5] Matsuno, T. *Metor. Soc. Jap.* 44 (1966): 25.
- [6] Dhaka, S.K., *et al.* *Atmos. Sciences*. 57 (1995): 1189.
- [7] Noersomadi. *Master Thesis, Bandung Institute of Technology*, 2009.
- [8] Nababan, C.A. *B.Sc. Thesis, Bogor Agricultural University*, 2009.
- [9] Ningrum, W. *B.Sc. Thesis, Bogor Agricultural University*, 2009.
- [10] Chatfield, C. *The Analysis of Time Series: An Introduction*. London: Chapman and Hall, 4rd Ed., 1989.
- [11] Murakami, T. *Atmos. Sciences*. 29 (1972): 1129
- [12] Lubis, S.W., dan S. Setiawan. *Jurnal Fisika*. 10 (2010) : 71
- [13] Setiawan, S. *B.Sc. Tesis, Bandung Institute of Technology*, 2000.
- [14] Lubis, S.W. *B.Sc. Thesis, Bogor Agriculture University*, 2010

POTENSI PEMANFAATAN KELUARAN MODEL NWP UNTUK PREDIKSI CUACA JANGKA PENDEK (STUDI KASUS: PONTIANAK, PEKANBARU, SEMARANG, SURABAYA DAN PALU)

Andi Syahid Muttaqin^{1*}, Ahmad Bey²

Sains Kebumian ITB, Bandung^{1*}

andi.syahid@students.itb.ac.id

Departemen Geofisika dan Meteorologi IPB, Bogor²

ABSTRAK

NWP adalah sebuah model prediksi cuaca harian menggunakan beberapa persamaan dinamika atmosfer. Kebutuhan mendasar untuk prediksi cuaca jangka pendek di Indonesia mendorong kita untuk memanfaatkan hasil keluaran model NWP untuk digabungkan dengan skema prediksi cuaca yang sudah biasa dilakukan. Sayangnya, resolusi spasial NWP masih terlalu kasar untuk menggambarkan kondisi lokal seperti di Indonesia. Teknik *Model Output Statistics* (MOS) digunakan untuk mengurangi nilai *error* dan meningkatkan akurasi keluaran model NWP. Tujuan penelitian ini adalah menentukan kombinasi terbaik dari prediktor di atmosfer untuk model curah hujan harian di lima wilayah kajian yang mewakili tiga wilayah tipe hujan di Indonesia, untuk musim hujan dan musim kemarau. Pola keluaran model NWP dibandingkan dengan data observasi untuk menganalisis konsistensi serta menerapkan faktor koreksi jika dianggap penting. Hasil kajian dalam penelitian ini menyimpulkan bahwa kelembaban di lapisan dekat permukaan, kelembaban pada lapisan pertengahan troposfer, serta kecepatan vertikal pada pertengahan troposfer adalah variabel yang relevan untuk model curah hujan harian di semua wilayah kajian dan semua musim. Potensi pemanfaatan model NWP terbesar adalah untuk Kota Palu. Kedekatan keluaran model NWP terhadap data observasi diduga dengan menggunakan indikator nilai *error*, yaitu: *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE).

Katakunci: Faktor koreksi, MAE, MOS, NWP, RMSE.

1. PENDAHULUAN

Prediksi cuaca dilakukan dengan tujuan untuk menyelamatkan kehidupan, pertanian, objek-objek penting, serta untuk memberi tahu kita apa yang sedang terjadi bahkan apa yang akan terjadi di lingkungan atmosfer kita. Mengetahui kondisi apa yang akan terjadi di atmosfer untuk waktu yang akan datang merupakan hal yang sangat penting bagi manusia (Ahrens 2009). Sebagai contoh, prediksi curah hujan lebat akan memberikan gambaran yang baik bagi perencanaan penanggulangan banjir. Selain itu, prediksi cuaca akan sangat membantu pengaturan jadwal transportasi udara (penerbangan) sehingga kecelakaan

penerbangan akibat cuaca buruk dapat dihindari. Bahkan, beberapa acara olah raga tertentu (luar ruangan) akan merasakan dampak dari cuaca buruk jika sebelumnya hal tersebut tidak diprediksi dengan baik.

Prediksi cuaca sekarang ini umumnya sudah terkomputerisasi, dimana komputer dapat menghitung interaksi *non-linear* yang sangat rumit antara angin, suhu, dan kelembaban pada ribuan lokasi dan ketinggian di seluruh dunia. Komputer mampu memplotkan, menganalisis data, dan melakukan prediksi kondisi cuaca yang akan terjadi dengan menggunakan persamaan gerak atmosfer secara matematik atau dikenal dengan *Numerical Weather Prediction* yang biasa disebut sebagai NWP (Stull 2000). Model NWP adalah sekumpulan kode komputer yang merepresentasikan persamaan-persamaan atmosfer secara numerik, digunakan untuk memprediksi kondisi atau status atmosfer yang akan datang dengan menggunakan kemampuan komputer yang tinggi. Prediksi atau ramalan cuaca dirumuskan dengan menyelesaikan persamaan pergerakan atmosfer. Persamaan-persamaan tersebut meliputi persamaan diferensial parsial *non-linear* dan *time-dependent* dari angin, temperatur, kelembaban dan tekanan (BMG 2006).

Model NWP dibangun berdasarkan persamaan gerak atmosfer berskala global dan regional serta belum memperhatikan kondisi lokal. Pemanfaatan data keluaran model NWP harus disertai dengan proses analisis statistik sebagai tahapan *post-processing* agar dapat mendekati kondisi sebenarnya dengan hasil pengukuran langsung (observasi) di lapangan. Kebutuhan mendasar untuk prediksi cuaca jangka pendek di Indonesia, mendorong kita untuk mampu membangun model NWP yang merepresentasikan dengan baik semua kondisi atmosfer di sekitar Indonesia. Sementara itu, kita pun harus mampu memanfaatkan hasil keluaran model NWP yang telah dilakukan oleh negara lain untuk digabungkan dengan skema prediksi cuaca yang sudah biasa dilakukan di Indonesia.

Tujuan penelitian ini adalah membuat analisis statistik keluaran model sebagai upaya pemanfaatan data keluaran model NWP untuk potensi prediksi cuaca jangka pendek di lima wilayah kajian. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan wilayah kajian yang berpotensi tinggi untuk memanfaatkan keluaran model NWP.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Data yang digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa:

1. Data observasi harian curah hujan (CH) kota Pontianak, Pekanbaru, Semarang, Surabaya, dan Palu untuk periode data 1 Januari 2008 sampai dengan 31 Desember 2008 (BMKG).
2. Data keluaran model *Numerical Weather Prediction* (NWP), produk *The National Weather Services* (NWS), *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), dengan waktu analisis dan prediksi 3 (tiga) jam, untuk periode data 1 Januari 2008 – 31 Desember 2008, yang didapat dari NOAA: <http://ready.arl.noaa.gov/READYamet.php> untuk lima wilayah kajian berdasarkan tiga wilayah tipe hujan di Indonesia yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nama dan koordinat wilayah kajian

No.	Stasiun Meteorologi	°Bujur	°Lintang
1	Supadio, Pontianak	109,40	-0,15
2	Simpangtiga, Pekanbaru	101,45	0,46
3	Ahmadyani, Semarang	110,38	-6,98
4	Juanda, Surabaya	112,76	-7,36
5	Mutiara, Palu	119,73	-0,68

Parameter-parameter keluaran NWP yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada penelitian Tereza Cavazos dan Bruce Hewitson (2002) tanpa menyertakan variabel kelembaban spesifik (q) yang dimuat dalam Tabel 2.

2.2. *Post-Processing* Keluaran Model NWP dengan Teknik MOS

1. Menentukan waktu pengamatan untuk parameter NWP yang disesuaikan dengan peubah respon (prediktor). Prediktan T_{\max} pada hari ke- t menggunakan waktu pengamatan pada jam 06.00 UTC (*Universal Time Coordinate*). Sedangkan, untuk prediktan T_{\min} menggunakan waktu pengamatan pada jam 18.00 UTC (BMG 2006).
2. Menguji parameter-parameter keluaran model NWP hasil penelitian Cavazos T (2002), Sutikno (2008), dan Ristanti D (2009) yang berkorelasi tinggi dengan curah hujan, T_{\max} , T_{\min} , dan RH.

3. Melakukan diagnostik multikolinearitas dengan VIF (*Variance Inflation Factor*). Indikator adanya multikolinearitas dapat ditinjau dari nilai VIF terbesar yang lebih dari 4 (VIF terbesar > 4).

Tabel 2 Variabel NWP dalam beberapa level tekanan (Sumber: Cavazos (2002))

Sirkulasi	Kelembaban	Ketebalan
Permukaan:		
Tekanan Permukaan Laut (slp)		
Komponen angin zonal dan meridional (u0, v0)	RH (rh0)	500 – 1000 hPa (th1)
Suhu (T0)		
Suhu Titik Embun (DP0)		
850-hPa:		
Ketinggian Geopotensial (z8)		
Komponen angin zonal dan meridional (u8, v8)	RH (rh8)	
Komponen angin vertikal (vv8)		500 – 850 hPa (th8)
700-hPa:		
Ketinggian Geopotensial (z7)		
Komponen angin zonal dan meridional (u7, v7)	RH (rh7)	
Komponen angin vertikal (vv7)		
500-hPa:		
Ketinggian Geopotensial (z5)		
Komponen angin zonal dan meridional (u5, v5)	RH (rh5)	
Komponen angin vertikal (vv5)		
200-hPa:		
Ketinggian Geopotensial (z2)		
Komponen angin vertikal (vv2)		

4. Melakukan Analisis Faktor (*Factor Analysis*) untuk menghilangkan masalah multikolinearitas jika ada.
5. Membangun regresi linear berganda dari faktor yang terbentuk. Regresi linear berganda yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j \left\{ \sum_{k=1}^n E_{kj} \left[\frac{(X_{ik} - \bar{X}_k)}{s_k} \right] \right\} \quad (1)$$

dimana, \hat{y}_i adalah nilai dugaan model ke-i, j dan k merupakan jumlah faktor dan jumlah peubah prediktor, E_{kj} merupakan matriks hasil perkalian antara $R^{-1} \times L^* \times D_\lambda^{-1/2}$, dan s_k merupakan ragam peubah prediktor.

6. Plot nilai y dan \hat{y} serta hitung nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dan MAE (*Mean Absolute Error*).

$$a. \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$b. \quad MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

dimana, \hat{y}_i adalah nilai dugaan (ramalan) ke-i, y_i merupakan nilai observasi ke-i, dan n merupakan banyaknya observasi.

7. Menentukan faktor koreksi untuk mendekati nilai ramalan dengan nilai observasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 *Numerical Weather Prediction (NWP)*

Atmosfer sebagai suatu sistem mungkin terlihat sangat rumit karena banyak proses dan komponen yang terlibat di dalamnya, namun sistem tersebut tetap merupakan suatu keteraturan yang dapat direpresentasikan oleh suatu model. Model-model seperti ini dapat menggambarkan dinamika atmosfer, tetapi bergantung pada penyederhanaan, kondisi awal, (*initial value problem*) dan asimilasi. Seluruh proses yang terjadi dalam suatu sistem atmosfer tidak selalu digambarkan dengan baik oleh suatu model, sehingga dalam pemanfaatannya perlu dilakukan interpretasi ulang dan memperhatikan faktor-faktor regional yang dapat mempengaruhi dinamika cuaca.

Model NWP yang digunakan dalam penelitian ini merupakan model *Global Data Assimilation System (GDAS)* produk *The National Weather Service's (NWS)*, *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)*. GDAS dijalankan empat kali dalam sehari yaitu pada pukul 00, 06, 12 dan 18 UTC. Keluaran dari model ini digunakan untuk waktu analisis dan prediksi 3, 6 dan 9 jam. GDAS1 merupakan model skala global dengan waktu prediksi tiap 3 jam dengan ukuran *grid* satu derajat lintang-bujur.

3.2 *Model Output Statistics (MOS)*

Pemanfaatan keluaran model NWP dioptimalkan dengan melakukan *post processing*. Beberapa metode yang seringkali digunakan untuk *post-processing* NWP adalah *model output statistics (MOS)*, *perfect prognosis (PP)*, dan *Kalman filtering*. Penelitian ini menggunakan MOS yang biasa digunakan untuk meramal parameter cuaca permukaan dari model NWP. Neilley (2004) menjelaskan bahwa MOS mempunyai dua fungsi utama, yaitu: (1) teknik MOS menghasilkan ramalan cuaca kuantitatif, (2) MOS mereduksi rataan sisaan

(*error*) dari ramalan *raw model* NWP dengan memperkecil bias dan pengkoreksian model secara statistik.

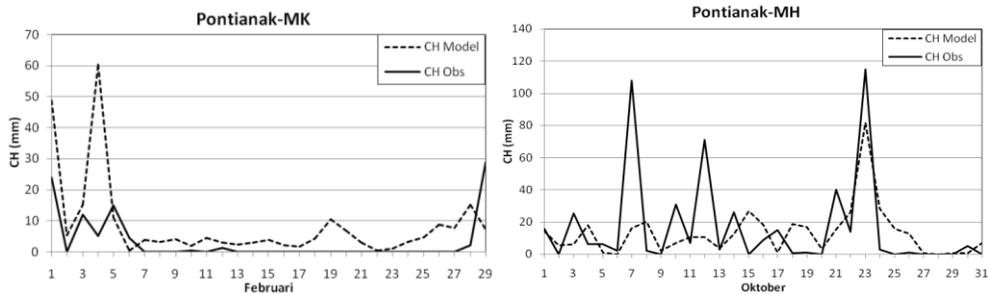
3.3 Potensi Pemanfaatan Keluaran Model NWP di Lima Wilayah Kajian

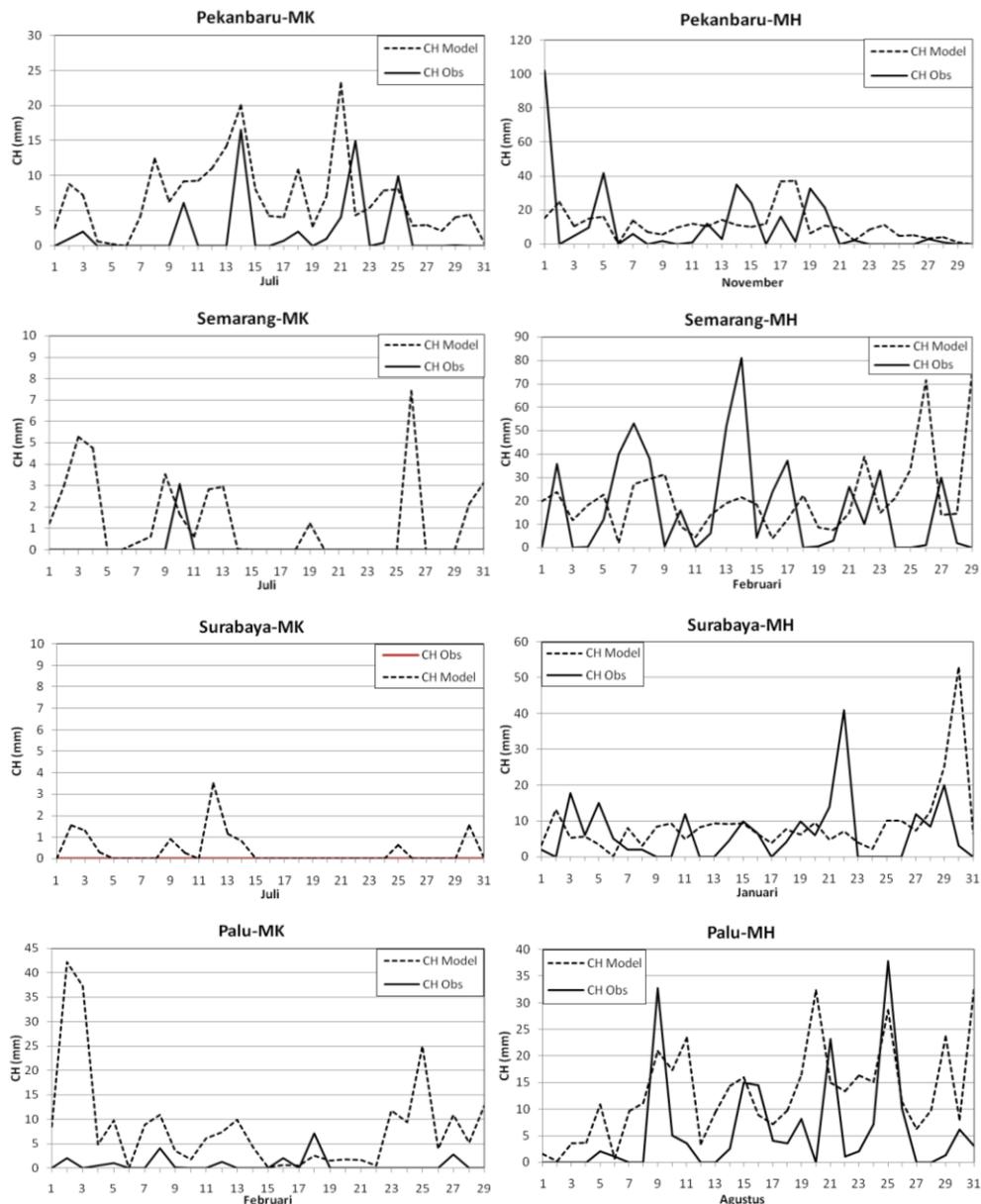
Hal pertama yang dilakukan dalam upaya pemanfaatan keluaran NWP adalah dengan analisis korelasi antara CH keluaran model NWP (CH model) dengan parameter keluaran NWP lainnya. Variabel yang selalu berkorelasi (prediktor) dengan CH model untuk kelima wilayah kajian adalah Rh0. Variabel lain yang sering muncul sebagai prediktor CH model adalah vv7, vv5, dan Rh8. Hal ini menunjukkan bahwa dalam proses pendugaan CH, model mempertimbangkan nilai kelembaban relatif pada lapisan 1000 dan 850 hPa serta kecepatan angin vertikal pada lapisan 700 dan 500 hPa. Jika masih ada kecepatan vertikal pada lapisan tersebut, maka masih ada massa udara yang mengembang dan bergerak naik ke atas sehingga menghasilkan awan-awan yang berkembang vertikal yaitu awan yang dihasilkan oleh kantung udara hangat dan lembab yang masih mampu naik sampai ketinggian yang cukup tinggi (awan berpotensi hujan) setelah melewati aras kondensasi (pada umumnya ± 850 hPa) yang ditunjukkan oleh variabel Rh8 yang sering muncul sebagai prediktor di lima wilayah kajian. Secara umum, prediktor yang memiliki korelasi tinggi dengan CH adalah Rh0, Dp0, vv8, Rh8, vv7, Rh7, u7, z7, vv5, u5, dan z2 yang selanjutnya digunakan untuk membangun persamaan regresi linier berganda. Persamaan regresi linier berganda (Tabel 3) dibangun setelah masalah multikolinieritas dalam data dideteksi dengan metode *Variance Inflation Factor* dan dihilangkan menggunakan metode Analisis Faktor. Selain itu, data observasi maupun model dikelompokkan ke dalam dua musim, yaitu musim hujan (MH) dan musim kemarau (MK).

Tabel 3 Persamaan regresi linear berganda dan nilai R² model CH (CH[^])

Kota	Musim	Persamaan Regresi	R ² (%)
Pontianak	MK	$CH^{\wedge} = -0,052 + 0,701 vv8 + 0,090 rh8 - 3,701 vv5 - 0,880 u7$	82
	MH	$CH^{\wedge} = -52,2 + 0,665 rh0 - 1,31 vv7 - 1,80 vv5$	83
Pekanbaru	MK	$CH^{\wedge} = -31,812 + 0,411 rh0 - 0,612 vv8 - 0,296 u7 - 0,208 u5 - 0,943 vv5 + 0,018 rh7$	78
	MH	$CH^{\wedge} = -44 + 0,07 z7 + 0,318 rh0 - 0,364 vv7 - 1,74 vv5$	80
Semarang	MK	$CH^{\wedge} = -238,648 + 0,711 z7 + 0,078 rh0 + 0,111 rh8 + 0,045 rh7$	65
	MH	$CH^{\wedge} = -182 + 0,956 rh0 - 2,42 vv7 - 1,04 vv5 + 1,16 rh7$	87
Surabaya	MK	$CH^{\wedge} = -13,674 + 0,161 rh0 + 0,022 rh8 + 0,015 rh7$	58
	MH	$CH^{\wedge} = -48,3 + 0,762 rh0 - 0,171 rh8 + 0,286 vv7 - 2,66 vv5 + 0,06 DP0$	88
Palu	MK	$CH^{\wedge} = -33,104 + 0,442 rh0 + 0,038 rh8 - 0,625 vv7 - 1,445 vv5 - 0,012 rh7$	89
	MH	$CH^{\wedge} = -108,898 + 0,024 rh7 - 1,060 vv5 + 0,913 rh0 - 0,987 vv7 + 1,779 DP0$	88

Potensi pemanfaatan keluaran model NWP diketahui dengan melihat plot grafik perbandingan antara keluaran model NWP (CH Model) dengan data di lapangan (CH Observasi). Jika di suatu wilayah kajian memiliki pola yang hampir sama antara CH model dengan CH observasi, maka potensi pemanfaatan keluaran model dapat dikatakan tinggi di wilayah tersebut (Gambar 1). Walaupun data CH bersifat diskret, agar mempermudah analisis, grafik CH dibuat dengan tipe grafik kontinyu (garis).

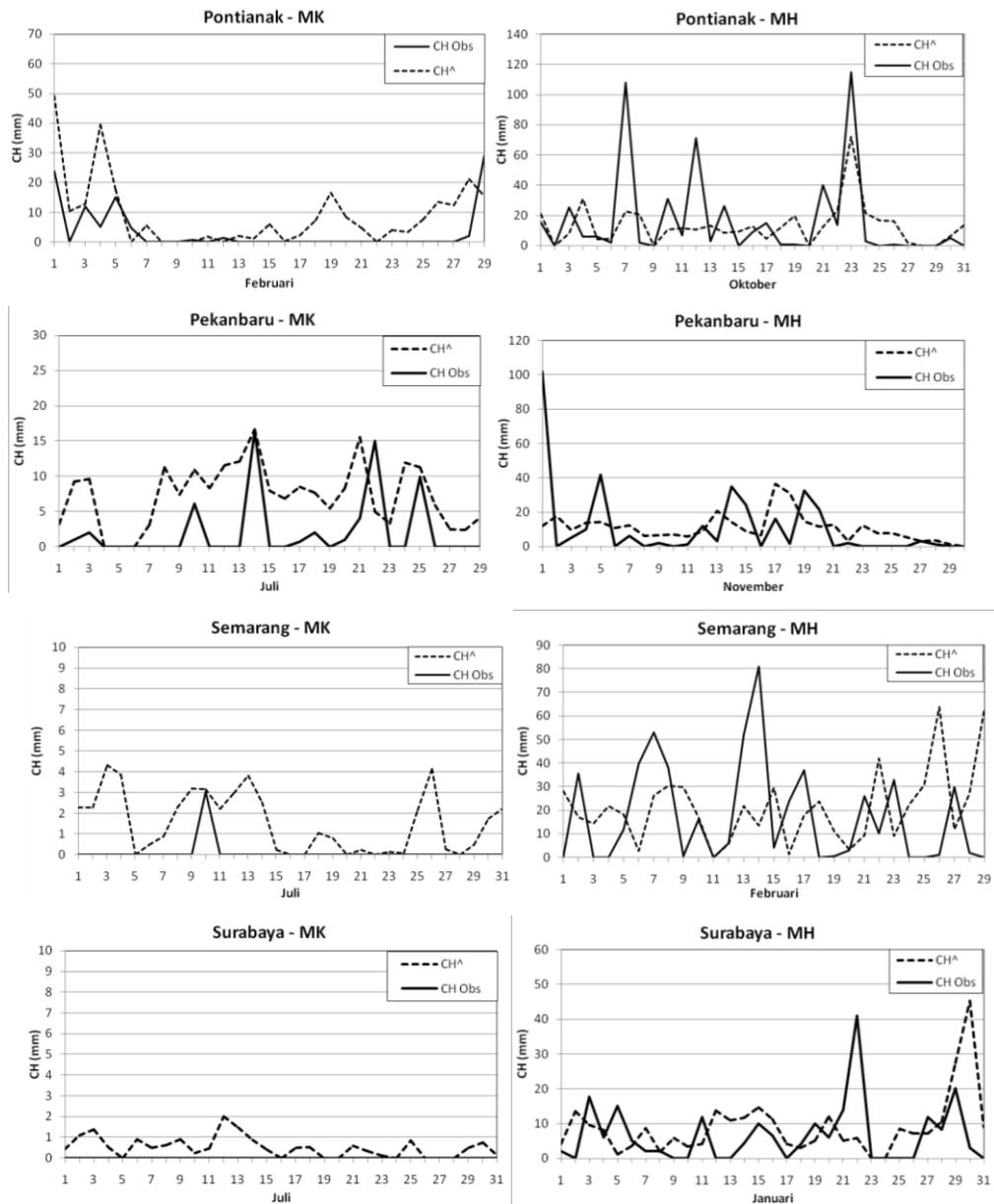


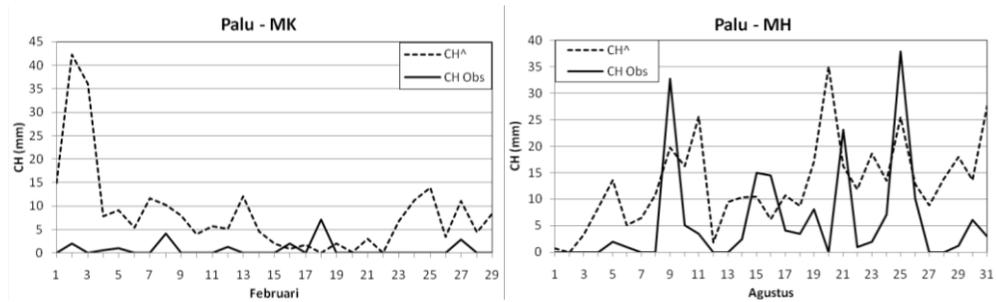


Gambar 1 Plot Nilai CH Model dan CH observasi lima wilayah kajian Tahun 2008

Prediksi NWP untuk CH harian diakui masih kurang baik untuk diterapkan di lima wilayah kajian. Hal ini disebabkan karena terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap curah hujan yang tidak tergambarkan dengan baik oleh model NWP. Namun, pola model NWP yang lebih mendekati observasi secara umum terjadi pada musim kemarau untuk seluruh wilayah kajian. Sedangkan, untuk Kota Palu, baik MK maupun MH memiliki pola

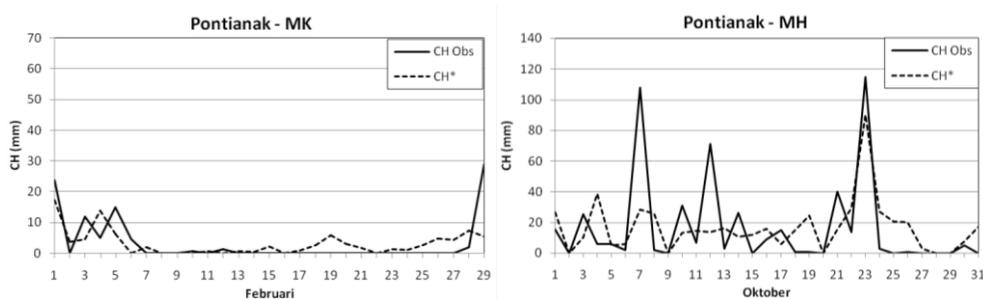
yang hampir serupa antara keluaran NWP dengan observasi. Hal selanjutnya yang dilakukan untuk melihat potensi pemanfaatan keluaran model NWP adalah melakukan plot antara CH Obs dengan CH hasil persamaan regresi (CH^{\wedge}) ditunjukkan pada Gambar 2.

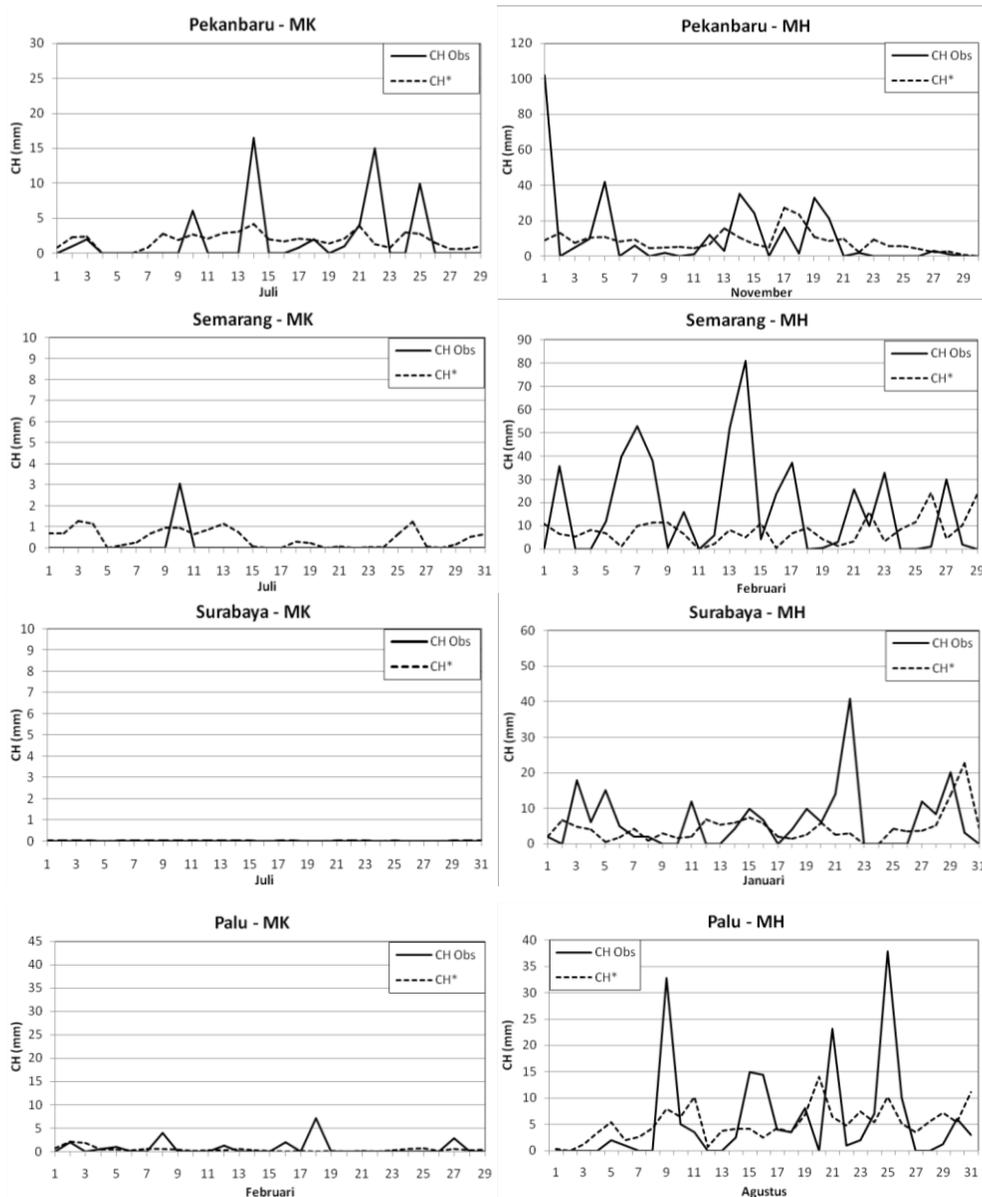




Gambar 2 Plot Nilai CH^A dan CH observasi lima wilayah kajian Tahun 2008

Perlu dicari suatu upaya untuk meminimalkan nilai *error* antara CH^A dengan CH observasi. Upaya tersebut dapat dilakukan dengan mencari faktor koreksi. Faktor koreksi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengkoreksi CH^A, agar nilai CH^A lebih mendekati nilai CH observasi. Sebagai acuan dalam pencarian faktor koreksi digunakan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE). Berikut ini merupakan grafik yang menunjukkan bahwa CH^A yang sudah diberi faktor koreksi sehingga menjadi CH* (Gambar 3). Sebelum diberikan faktor koreksi, nilai *error* (RMSE dan MAE) antara model dengan observasi, secara umum lebih besar pada musim hujan (MH) untuk semua wilayah kajian. Hal ini mengindikasikan bahwa proses *sub-grid cell* untuk menduga presipitasi seperti proses konveksi tidak digambarkan dengan baik oleh model. Nilai *error* yang cukup besar mungkin juga berhubungan dengan data observasi.





Gambar 3 Plot Nilai CH* dan CH observasi lima wilayah kajian Tahun 2008

Secara konseptual, penggunaan faktor koreksi seharusnya akan mengurangi nilai *error*. Pengurangan nilai RMSE dan MAE terbesar terjadi pada wilayah kajian Surabaya musim kemarau (Surabaya-MK). Hal ini terjadi karena nilai CH observasi harian untuk bulan Juli 2008 di Surabaya bernilai nol, sehingga nilai faktor koreksi yang diberikan menghasilkan pola yang sangat dekat antara model dan observasi. Secara umum, dapat dikatakan bahwa

penggunaan faktor koreksi sangat berpengaruh besar (efektif) diterapkan untuk musim kemarau di seluruh wilayah kajian seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Faktor koreksi model CH untuk masing-masing wilayah kajian

No	Wilayah kajian	Koreksi (CH [^]) (%)	RMSE dan MAE		Selisih <i>error</i> (%)		
			Sebelum	Sesudah	RMSE	MAE	
1	Pontianak-MK	35	RMSE	10,9	5,8	46,5	50,1
			MAE	7,2	3,6		
	Pontianak-MH	125	RMSE	23,7	23,1	2,5	-5,4
			MAE	15,2	15,9		
2	Pekanbaru-MK	25	RMSE	6,8	3,9	43,2	60,8
			MAE	5,6	2,2		
	Pekanbaru-MH	75	RMSE	20,6	20,5	0,6	10,1
			MAE	12,5	11,3		
3	Semarang-MK	30	RMSE	2,0	0,7	64,7	65,4
			MAE	1,4	0,5		
	Semarang-MH	38	RMSE	29,2	24,9	14,4	20,5
			MAE	23,6	18,8		
4	Surabaya-MK	1	RMSE	0,7	0,007	99,0	99,0
			MAE	0,5	0,005		
	Surabaya-MH	50	RMSE	11,9	9,5	20,4	24,8
			MAE	7,9	5,9		
5	Palu-MK	5	RMSE	12,3	1,7	86,5	89,8
			MAE	8,3	0,8		
	Palu-MH	40	RMSE	12,2	8,9	27,4	42,1
			MAE	9,9	5,7		

Nilai RMSE dan MAE akan memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai sejauh mana model mampu menduga nilai observasi serta mampu menjadi acuan dalam pemberian faktor koreksi. Persentase pengurangan nilai RMSE dan MAE didasarkan pada selisih nilai *error* sebelum dan sesudah pemberian faktor koreksi. Model NWP tidak memasukkan faktor lokal dalam perhitungannya sehingga hasil prediksinya biasanya kurang tepat dari keadaan sebenarnya di lapangan. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa faktor koreksi tersebut merupakan pengganti dari faktor-faktor lokal yang tidak dimasukkan dalam model NWP.

4. KESIMPULAN

Penilaian potensi pemanfaatan dilihat dari beberapa hal, yaitu: (1) pola grafik antara data observasi dan keluaran model, (2) nilai koefisien determinasi model hasil regresi (3) nilai *error* antara observasi dan model, serta (4) persentase pengurangan nilai *error* (efektifitas faktor koreksi). Kelembaban (rh0 dan rh8) serta kecepatan angin vertikal (vv7 dan vv5) merupakan variabel yang paling relevan terhadap curah hujan harian. Persamaan regresi model NWP untuk curah hujan harian menghasilkan *error* yang cukup besar untuk musim hujan, hal ini mengindikasikan bahwa proses-proses yang berpengaruh terhadap curah hujan pada skala yang lebih kecil dari *grid* model (resolusi lebih tinggi), tidak digambarkan dengan baik oleh model NWP. Secara umum, kinerja dan potensi pemanfaatan keluaran model NWP paling tinggi adalah untuk wilayah kajian Palu. Wilayah kajian lain memiliki nilai *error* yang relatif kecil untuk musim kemarau tapi besar untuk musim hujan, sedangkan wilayah kajian Palu menunjukkan kinerja (nilai *error* relatif kecil) yang sama baiknya untuk kedua musim. Selain itu, persamaan regresi CH paling baik pun ditunjukkan oleh wilayah kajian Palu, dengan nilai R^2 sebesar 89% untuk musim kemarau dan 88% untuk musim hujan.

PUSTAKA

- [1] Ahrens CD. 2009. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and The Environment*. Ed ke-9. Canada: Brooks/Cole.
- [2] Stull RB. 2000. *Meteorology for Scientist and Engineers*. USA: Brooks/Cole.
- [3] [BMG] Badan Meteorologi dan Geofisika. 2006. Uji operasionalisasi dan validasi model output statistik (MOS) [Laporan]. Jakarta: BMG.
- [4] Cavazos T, Hewitson B. 2002. Relative performance of empirical predictors of daily precipitation. Lugano, Switzerland 2:349-354.
- [5] Sutikno. 2008. Statistical downscaling luaran GCM dan pemanfaatannya untuk peramalan produksi padi [disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana-IPB.
- [6] Ristanti D. 2009. Inter-relasi keluaran model NWP untuk potensi prakiraan cuaca jangka pendek tiga wilayah tipe hujan di Indonesia [skripsi]. Bogor: FMIPA-IPB.
- [7] Neilley PP, Hanson KA. 2004. Are model output statistics still needed? Preprints, 20th Conference on Weather Analysis and Forecasting. *Weather Services International*.

ANALISIS DATA HUJAN DI BEBERAPA WILAYAH SUNGAI JAWA BAGIAN BARAT

Mirnawati Zulaikha^{1*}, Bregas Budianto²

^{1,2}Departemen Geofisika dan Meteorologi,
FMIPA IPB Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680
Institut Pertanian Bogor, Bogor
e-mail: mirnawatizulaikha.g2428@yahoo.co.id,

ABSTRAK

Saat ini banyak peneliti yang menggunakan metode interpolasi data untuk memenuhi kebutuhan data curah hujan. Data-data hasil interpolasi atau *downscaling* tersebut terkadang kurang merepresentasikan keadaan hujan sebenarnya yang terjadi di permukaan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan mendapatkan karakter hujan di beberapa wilayah sungai Jawa Bagian Barat dengan menggunakan metode analisis data hujan berdasarkan wilayah sungai dan DAS, ketinggian, dan jarak antar stasiun. Karakter hujan di Jawa Bagian Barat berdasarkan wilayah sungai dan DAS mempunyai ketidakseragaman yang besar dari sifat data per stasiun dan dari sifat data antar stasiun menunjukkan hubungan yang kuat dengan nilai korelasi maksimum dan $p\text{-value} < 0.05$ pada akumulasi data curah hujan di 30-harian. Berdasarkan variasi ketinggian tempat belum menunjukkan pola pengaruh yang jelas dari ketinggian terhadap curah hujan namun lebih didominasi oleh letak stasiun yang berada pada daerah hadap angin (*windward side*) dan daerah dekat pesisir. Berdasarkan jarak antar stasiun terlihat perbandingan jarak terhadap persentase selisih hujan di wilayah dataran rendah baik yang berada di dekat pesisir laut maupun di daratan bagian dalam menunjukkan adanya kecenderungan penambahan selisih persentase hujan akibat penambahan jarak antar stasiun. Sebaliknya pada kelompok stasiun yang berada di wilayah pegunungan menunjukkan kecenderungan pengurangan selisih persentase hujan akibat penambahan jarak antar stasiun.

Katakunci : hujan, Jawa Barat, DAS, ketinggian, jarak antar stasiun.

1. PENDAHULUAN

Informasi curah hujan merupakan informasi yang penting sebagai modal awal pengkajian sebuah penelitian. Akan tetapi terdapat banyak keterbatasan dalam mengumpulkan data cuaca. Hal ini memaksa para peneliti untuk berpikir kreatif dalam menyikapi keterbatasan ini, mulai dari penggunaan citra satelit hingga melakukan interpolasi dari stasiun cuaca lain. Terdapat beberapa kekurangan pada data-data hasil interpolasi atau *downscaling* unsur hujan dimana terkadang kurang merepresentasi keadaan hujan sebenarnya yang terjadi. Oleh karena itu hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu menggambarkan

karakteristik hujan yang terjadi berdasarkan pengambilan data pengamatan di lapangan dengan daerah kajian Jawa bagian Barat.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Data

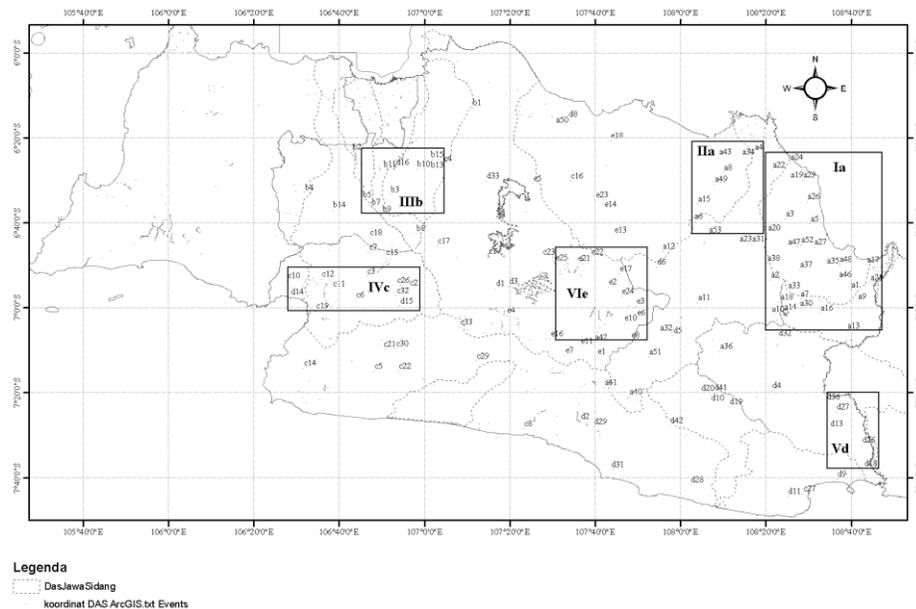
Data yang digunakan yakni curah hujan harian 129 stasiun yang tersebar di Wilayah Jawa Bagian Barat dengan ketersediaan data dalam rentang waktu yang berbeda-beda.

2.2. Pengelompokan Berdasarkan Wilayah Sungai dan DAS

Data dikelompokkan berdasarkan letak stasiun dengan wilayah sungai (WS) dan DAS terdekat serta mempunyai kemiripan topografi di peta secara visual. Kelompok wilayah sungai dan DAS yang dianalisa yakni sebagai berikut (Gambar 1):

- Kelompok Ia (WS Cimanuk – Cisanggarung)
 - Stasiun a1, a2, a3, a5, a7, a9, a10, a13, a14, a16, a17, a18, a19, a20, a21, a22, a24, a26, a27, a29, a30, a33, a35, a37, a38, a46, a47, a48, a52.
- Kelompok IIa (WS Cimanuk – Cisanggarung)
 - Stasiun a4, a6, a8, a15, a34, a43, a49, a53.
- Kelompok IIIb (WS Cisadane – Ciliwung)
 - Stasiun b3, b5, b7, b9, b10, b11, b13, b15.
- Kelompok IVc (WS Cisadea – Cimandiri)
 - Stasiun c2, c3, c6, c10, c11, c12, c19, c26, c32.
- Kelompok Vd (WS Citanduy – Ciwulan)
 - Stasiun d13, d18, d26, d27, d36.
- Kelompok VIe (DAS Citarum)
 - Stasiun e2, e3, e6, ee8, 10, e12, e17, e19, e21, e22, e24, e25.

Analisa sifat data per stasiun dilakukan dengan membandingkan pola hujan harian, akumulasi 10-harian, 30-harian, dan tahunan. Dalam analisa sifat data per stasiun dipilih satu stasiun dari tiap kelompok yang memiliki data dengan rentang yang panjang. Stasiun hujan yang dianalisa yakni a19, a49, b3, c19, d36 dan e3.



Gambar 1 Kelompok stasiun hujan berdasarkan wilayah sungai dan DAS

Analisa sifat keeratan data antar stasiun dilakukan dengan menghitung koefisien korelasi dan *p-value* data hujan dua stasiun dalam skala akumulasi 3-harian, 5-harian, 7-harian, 10-harian, 30-harian, dan tahunan. Stasiun-stasiun yang digunakan untuk analisa ini yaitu kelompok Ia : a19, a22, a24, a29; kelompok Iia : a4, a8, a34, a49; kelompok IIIb : b3, b5, b9, b10, b11, b13, b15; kelompok IVc : c6, c10, c19; kelompok Vd : d13, d27, d18; dan kelompok VIe : e3, e12, e17, e19.

2.3. Pengelompokan Berdasarkan Ketinggian Tempat

Pengelompokan data hujan berdasarkan ketinggian tempat dilakukan dengan membagi wilayah Jawa bagian Barat menjadi 2 bagian yakni wilayah bagian utara dan selatan dengan jajaran pegunungan sebagai pemisahannya. Kemudian dipilih stasiun-stasiun yang mempunyai ketinggian berbeda dan ketersediaan data curah hujan dari bulan Maret 2007 sampai bulan Mei 2009. Stasiun-stasiun yang dianalisa yakni wilayah utara : e3, e4, e7, e11, e16; dan wilayah selatan : c6, c10, c14, c15, c19, c29.

Analisa dilakukan dengan membandingkan pola hujan Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA), September-Oktober-November (SON), dan Desember-Januari-Februari (DJF) dengan pola ketinggian stasiun yang diurutkan dari ketinggian tertinggi ke terendah.

2.4. Pengelompokan Berdasarkan Jarak Antar Stasiun

Analisa diperoleh dari nilai representasi perubahan jarak terhadap persentase selisih hujan antar stasiun-stasiun hujan dengan stasiun acuannya. Kelompok stasiun yang digunakan dalam analisa ini disesuaikan dengan karakteristik wilayah yang berbeda-beda, yakni kelompok Ia merepresentasi stasiun-stasiun yang berbatasan langsung dengan pesisir laut, kelompok IIa merepresentasi stasiun yang berbatasan dengan pesisir laut namun lebih jauh ke daratan dibanding kelompok Ia, kelompok IIIb merepresentasi stasiun-stasiun yang berada di daratan dalam, dan terakhir kelompok IVe merepresentasi stasiun-stasiun yang berada di daratan tinggi dan pegunungan. Stasiun-stasiun yang dianalisa dan stasiun acuannya untuk masing-masing kelompok yakni kelompok Ia : stasiun a19 (acuan), a29, a24, dan a22; kelompok IIa : stasiun a8 (acuan), a34, a49, dan a4; kelompok IIIb : stasiun b3 (acuan), b9, b5, b11, b10, b13, dan b15; kelompok IVe : stasiun e17 (acuan), e19, e3, dan e12.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Hujan Berdasarkan Wilayah Sungai dan DAS

Hujan merupakan salah satu faktor cuaca yang karakternya ditentukan oleh faktor fisik lingkungan. Faktor fisik yang membatasi daerah cakupan pengaruh hujan yakni gunung dan lembah yang juga merupakan batas fisik wilayah sungai ataupun DAS. Oleh karena itu karakter hujan di wilayah Jawa bagian Barat dianalisa berdasarkan hasil pengelompokan stasiun-stasiun hujan yang berada di sekitar wilayah sungai dan/ atau DAS.

3.1.1. Sifat Data per Stasiun

Analisa sifat data per stasiun dilakukan dengan membandingkan pola akumulasi hujan harian, 10-harian, 30-harian, dan pola tahunannya dari tiap rentang data tahun pengamatan. Wang dan Cho (1997) dalam tulisannya menyatakan bahwa presipitasi bulanan mempunyai kecenderungan yang naik selama setengah abad terakhir, untuk wilayah *Northern Eurasia*. Kecenderungan yang naik pada presipitasi bulanan akan membentuk pola hujan tahunan yang cenderung naik juga. Namun pola hujan bulanan di stasiun a19 yang memiliki rentang data pengamatan selama 21 tahun tidak menunjukkan kecenderungan tersebut.

Terjadi penurunan hujan tahunan dari tahun 1990 ke tahun 1991 untuk stasiun d36, sebaliknya pada tahun yang sama namun di wilayah sungai berbeda, terjadi kenaikan hujan tahunan di stasiun a19 dan a49. Stasiun a19 mempunyai keragaman pola hujan tahunan yang besar dari tahun 1990 sampai 2001, namun dengan wilayah sungai yang sama hal tersebut tidak terjadi di stasiun a49 dimana keragamannya cenderung kecil. Stasiun b3 dan e3 mempunyai rentang data dari tahun 2004 sampai 2010 dengan pola hujan tahunan yang cenderung naik. Pada rentang tahun yang sama hujan tahunan di stasiun a19 cenderung kecil keragamannya dibanding stasiun b3, e3 dan c19. Keragaman hujan tahunan di stasiun a19 yang kecil tersebut juga berbeda dibanding dengan tahun-tahun pengamatan sebelumnya, yakni tahun 1990 sampai 2004. Secara umum terlihat bahwa ketidakteraturan hujan cukup besar baik spasial maupun temporal.

3.1.2 Sifat Keeratan Data antar Stasiun

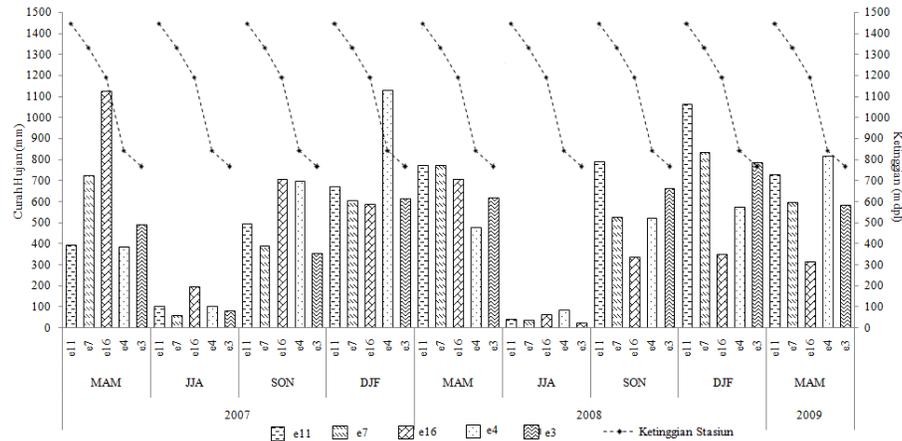
Karakteristik hujan didapatkan dari nilai koefisien korelasi dan *p-value* antar dua stasiun dalam skala akumulasi yang berbeda. Skala akumulasi hujan yang digunakan yakni 3-harian, 5-harian, 7-harian, 10-harian, 30-harian, dan tahunan. Nilai koefisien korelasi untuk setiap kombinasi stasiun hujan pada masing-masing kelompok DAS memiliki nilai yang lebih tinggi pada akumulasi hujan 30-harian dengan *p-value* < 0.05. Hal tersebut menunjukkan bahwa data curah hujan di satu stasiun mempunyai hubungan yang kuat dan bersifat nyata dengan stasiun pembanding pada data akumulasi hujan 30-harian. Sedangkan untuk kombinasi stasiun yang memiliki nilai koefisien korelasi rendah dan *p-value* tinggi dapat disebabkan oleh dominannya karakteristik lokal stasiun yang mempengaruhi hujan pada tahun-tahun pengamatan.

3.2. Karakteristik Hujan Berdasarkan Ketinggian

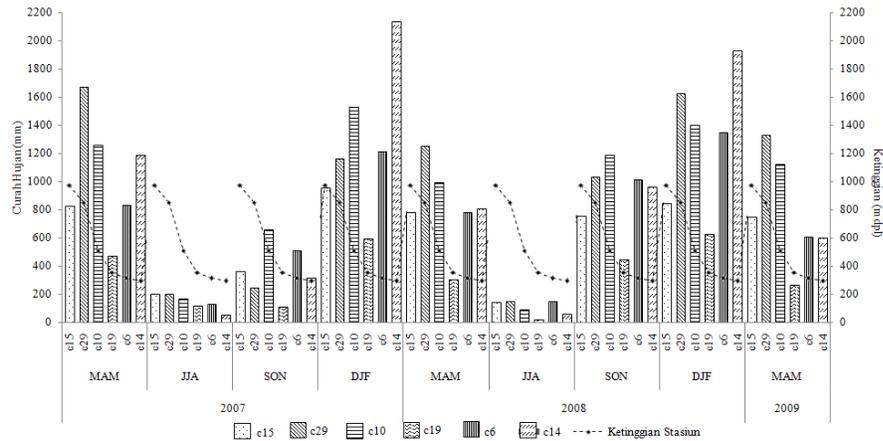
Karakter hujan dilihat dari nilai akumulasi hujan 3-bulanan yang dimulai pada bulan Maret, yakni pada saat matahari tepat berada di atas ekuator. Analisa yang dilakukan menggunakan data curah hujan dari Maret 2007 sampai Mei 2009 yang dimaksudkan untuk melihat pola hujan yang terjadi dengan pola gerak semu matahari.

Stasiun-stasiun di Gambar 3 mempunyai ketinggian yang lebih rendah (terendah 294 mdpl dan tertinggi 974 mdpl) dibanding stasiun di Gambar 2 (terendah 766 mdpl dan

tertinggi 1446 mdpl). Rataan hujan 3-bulanan untuk semua stasiun di masing-masing kelompok menunjukkan intensitas hujan kelompok bagian utara selalu lebih kecil dibanding kelompok bagian selatan. Dari kedua kelompok stasiun tersebut tidak terlihat adanya hubungan yang jelas antara ketinggian dengan intensitas hujan yang terjadi.



Gambar 2 Perbandingan hujan 3-bulanan periode MAM 2007 sampai periode MAM 2009 kelompok stasiun bagian utara dengan ketinggian masing-masing stasiun



Gambar 3 Perbandingan hujan 3-bulanan periode MAM 2007 sampai periode MAM 2009 kelompok stasiun bagian selatan dengan ketinggian masing-masing stasiun

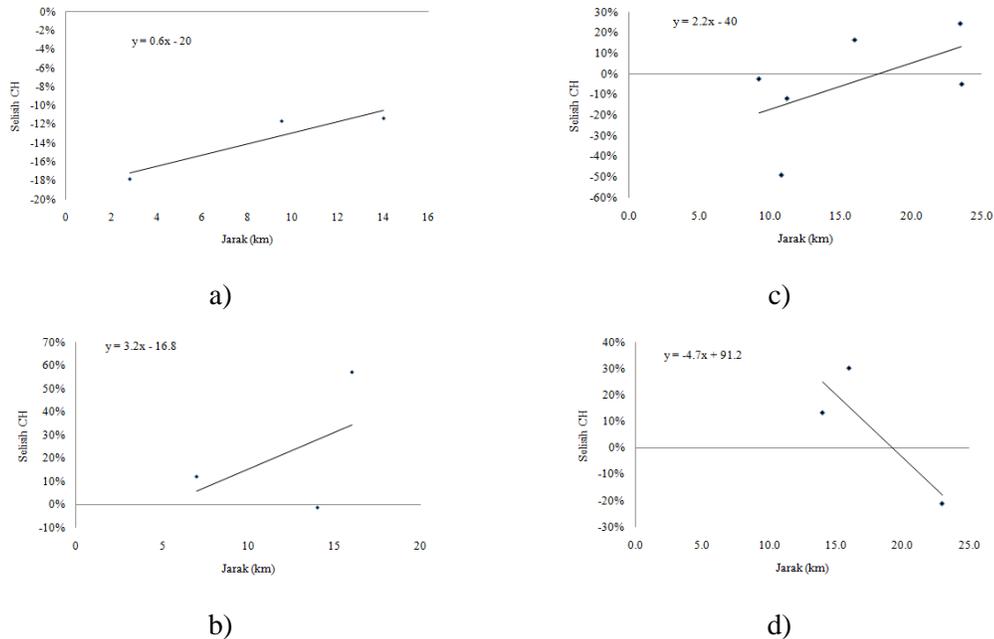
Sebelumnya telah dilakukan pula perhitungan nilai rasio hujan periode DJF dengan periode JJA untuk stasiun-stasiun di beberapa rentang ketinggian. Kelompok stasiun

berdasarkan beberapa rentang ketinggian tersebut juga dibagi lagi menjadi dua kelompok yakni bagian utara dan selatan. Perhitungan rasio tersebut dilakukan untuk melihat apakah rasio DJF-JJA mempunyai hubungan dengan adanya perbedaan ketinggian tempat. Semakin besar nilai rasionya menunjukkan perbedaan intensitas hujan yang besar antara periode DJF (bulan basah) dengan periode JJA (bulan kering). Namun rasio yang didapatkan tidak menunjukkan adanya hubungan hujan dengan ketinggian tempat karena di setiap rentang ketinggian terdapat beberapa stasiun yang memiliki rasio DJF-JJA yang kecil maupun yang besar. Nilai rasio yang besar lebih didominasi oleh bentuk orografiknya, yakni letak stasiun yang berada pada lereng di atas angin (*windward side*) maupun daerah dekat pesisir. Hal tersebut serupa dengan pernyataan Simon dan Mohankumar (2004) dimana hasil penelitiannya di Kerala yang menggunakan metode angin menunjukkan cuaca di Kerala secara mendalam dipengaruhi oleh bentuk orografiknya. Dalam hal ini pun dapat terlihat kelompok stasiun bagian selatan berada pada daerah atas angin (*windward side*) dan berbatasan dengan laut di bagian selatannya, sedangkan kelompok stasiun bagian utara berada di daerah bawah angin (*leeward side*) dan berada di tengah daratan luas Jawa bagian Barat. Sehingga lokasi stasiun lebih mempengaruhi hujan yang terjadi di suatu tempat. Selain itu, pernyataan tersebut juga didukung oleh analisis dari *principal component series* menggunakan rataan bergerak dan uji Mann-Kendall oleh Esteban-Parra *et al.* (1998), dimana terlihat adanya penurunan jangka panjang yang signifikan untuk presipitasi di wilayah-wilayah daratan bagian dalam, dan kenaikan presipitasi di wilayah pesisir.

3.3. Karakteristik Hujan Berdasarkan Jarak antar Stasiun

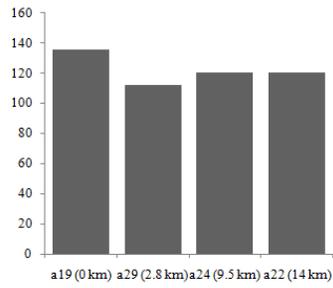
Persamaan yang didapatkan dari perbandingan jarak (km) dengan selisih hujan (%) stasiun pembanding terhadap stasiun acuan di masing-masing kelompok berbeda, sesuai dengan perbedaan karakter masing-masing wilayah. Persamaan yang diperoleh kelompok Ia dan IIa berturut-turut adalah $y = 0.6x - 20$ dan $y = 3.2x - 16.8$. Kelompok Ia dan IIa berada dalam satu wilayah sungai yang ditunjukkan dengan simbol a, yaitu wilayah sungai Cimanuk-Cisanggarung. Namun persamaan yang diperoleh berbeda, dimana keterwakilan hujan dengan perubahan jarak stasiun satu kilometer di masing-masing kelompok berbeda. Kelompok IIIb yang terletak di daratan luas dengan ketinggian yang sama, tidak dibatasi dengan dataran tinggi, pegunungan, maupun pesisir laut, memperoleh persamaan $y = 2.2x - 40$. Sedangkan

persamaan dari kelompok IVE yang terletak di wilayah pegunungan $y = -4.7x + 91.2$. Persamaan dari kelompok IVE menunjukkan pengurangan persentase selisih hujan dengan adanya penambahan jarak per kilomernya, berkebalikan dengan ketiga kelompok lainnya (Gambar 4).

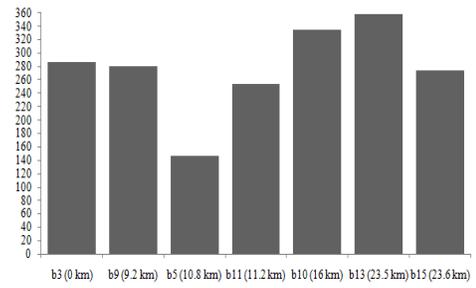


Gambar 4 Hubungan jarak dengan selisih curah hujan masing-masing stasiun terhadap stasiun acuan. a) Stasiun a29, a24 dan a22 terhadap stasiun a19; b) Stasiun a34, a49 dan a4 terhadap stasiun a8; c) Stasiun b9, b5, b11, b10, b13 dan b15 terhadap stasiun b3; d) Stasiun e19, e3 dan e12 terhadap stasiun e17.

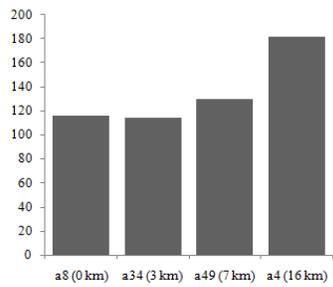
Pola akumulasi hujan rata-rata 30-harian masing-masing kelompok stasiun menunjukkan ketidakteraturan yang besar untuk stasiun yang lebih dekat dengan stasiun acuan. Hasil tersebut berkebalikan dengan pemahaman umum dimana semakin dekat jarak antar stasiun maka korelasinya akan semakin besar atau mendekati satu. Hasil yang serupa juga ditemukan oleh Yasa dan Br Sri (2001) dalam penelitiannya di Sub SWS Pulau Lombok. Kejadian ini dapat terjadi jika kedua stasiun yang berdekatan mempunyai karakteristik wilayah lokal yang berbeda.



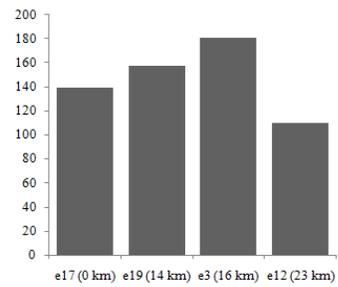
Kelompok Ia



Kelompok IIIb



Kelompok IIa



Kelompok IVe

Gambar 5 Akumulasi hujan rata-rata 30-harian tiap kelompok stasiun dalam satu wilayah sungai

4. KESIMPULAN

Karakteristik hujan di Jawa Bagian Barat berdasarkan wilayah sungai dan DAS terlihat dari sifat data per stasiun dimana data hujan dari tahun ke tahun mempunyai ketidakteraturan yang besar. Dari sifat data antar stasiun menunjukkan hubungan yang kuat dengan nilai korelasi maksimum dan $p\text{-value} < 0.05$ pada akumulasi data curah hujan di 30-harian.

Berdasarkan variasi ketinggian tempat belum menunjukkan pola pengaruh yang jelas dari ketinggian terhadap curah hujan. Faktor yang mempengaruhi curah hujan lebih didominasi oleh letak stasiun yang berada pada daerah hadap angin (*windward side*) dan daerah dekat pesisir.

Berdasarkan jarak antar stasiun terlihat perbandingan jarak terhadap persentase selisih hujan di wilayah dataran rendah baik yang berada di dekat pesisir laut maupun di daratan bagian dalam menunjukkan adanya kecenderungan penambahan selisih persentase hujan akibat penambahan jarak antar stasiun. Namun sebaliknya pada kelompok stasiun yang berada di wilayah pegunungan menunjukkan adanya kecenderungan pengurangan selisih persentase hujan akibat penambahan jarak antar stasiun.

PUSTAKA

- [1] Wang X., Cho H.R. 1997. Spatial-Temporal Structures of Trend and Oscillatory Variabilities of Precipitation over Northern Eurasia. *Journal Of Climate* (10): 2285-2298.
- [2] Simon A., Mohankumar K. 2004. Spatial Variability and rainfall characteristics of Kerala. *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.)*. 2(113): 211-221.
- [3] Esteban-Parra M.J., Rodrigo F.S., Castro-Diez Y. 1998. Spatial and Temporal Patterns of precipitation in Spain for the Period 1880-1992. *International Journal of Climatology* 18: 1557-1574.
- [4] Yasa I.W., Sri H.B. 2001. Beberapa Metode Pola Jaringan Stasiun Hujan dan Implikasinya pada Ketelitian Analisis. *Forum Teknik Sipil*. X: 37-48.

KAJIAN ATMOSFER BAWAH WILAYAH TROPIS DAN SUBTROPIS

Fella Fauziah Hermayana^{1*}, Ahmad Bey²

Institut Pertanian Bogor, Bogor ^{1*}

fellafauziah@gmail.com, Departemen Geofisika dan Meteorologi FMIPA IPB

Institut Pertanian Bogor, Bogor ²

ABSTRAK

Atmospheric Boundary Layer (ABL) merupakan lapisan atmosfer paling bawah yang secara langsung dipengaruhi oleh permukaan bumi dan merespon gaya-gaya permukaan dalam rentang waktu satu jam sampai satu hari. Analisis karakteristik ABL dilakukan berdasarkan profil vertikal diurnal dan nokturnal dari variabel-variabel meteorologi untuk beberapa lokasi di wilayah tropis dan wilayah subtropis. Dalam penentuan ketinggian ABL yang diwakili oleh ketinggian *Mixed Layer* (ML) pada siang hari dan *Residual Layer* (RL) pada malam hari digunakan variabel suhu potensial virtual, kelembaban spesifik, arah dan kecepatan angin, stabilitas atmosfer, dan *Bulk-Richardson number*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa ketinggian ML di wilayah tropis berkisar antara 260 m sampai 1410 m, ketinggian RL berkisar antara 267 m sampai 925 m dan ketinggian aliran turbulensi berkisar antara 0 m sampai 335 m. Sedangkan di wilayah subtropis, ketinggian ML berkisar antara 101 m sampai 1483 m, ketinggian RL berkisar antara 121 m sampai 1276 m, dan ketinggian aliran turbulensi berkisar antara 0 m sampai 769 m. Pada umumnya ketinggian ABL di wilayah tropis lebih tinggi dibandingkan di wilayah subtropis, tetapi ABL di wilayah subtropis dapat lebih tinggi dibandingkan di wilayah tropis apabila di wilayah subtropis sedang terjadi musim panas.

Kata kunci : *Atmospheric Boundary Layer*, Ketinggian *Mixed Layer*, *Richardson Number*, Suhu Potensial Virtual

1 PENDAHULUAN

Atmosfer bumi terdiri dari empat lapisan, yaitu troposfer, stratosfer, mesosfer, dan termosfer. Troposfer merupakan lapisan yang paling bawah, sehingga troposfer dibatasi langsung oleh permukaan bumi. Di antara permukaan bumi dan atmosfer terdapat suatu lapisan yang disebut *boundary layer*. *Atmospheric Boundary Layer* (ABL) atau yang dikenal sebagai *Planetary Boundary Layer* (PBL) adalah lapisan paling bawah atmosfer yang dicirikan dengan adanya turbulensi yang terbentuk sebagai akibat dari interaksi antara atmosfer dengan permukaan, dalam jangka waktu kurang dari satu hari [1].

Ketinggian ABL bervariasi terhadap ruang dan waktu, sehingga dalam pendugaan ketinggian ABL digunakan variasi diurnal dari profil vertikal suhu, kelembaban, dan angin. Di daratan, ABL maksimum terjadi pada siang hari karena adanya konveksi maksimum. Variasi ketebalan ABL di lautan cenderung lebih kecil dibandingkan di daratan karena lautan memiliki kapasitas panas yang lebih besar dibandingkan daratan, sehingga lautan dapat menyerap sejumlah panas yang besar dengan perubahan suhu yang sangat kecil [2].

Pengetahuan tentang ABL sangatlah penting bagi kehidupan manusia. Banyak fenomena cuaca dan iklim yang terjadi karena interaksi antara atmosfer dan permukaan bumi, sehingga proses-proses di permukaan dan di ABL dapat diidentifikasi dan dipahami agar dapat dibuat model prediksi dengan baik. Selain itu, dengan mengetahui ketebalan ABL dapat dilakukan pendugaan distribusi polutan, peramalan cuaca pada masa mendatang, berguna bagi kegiatan penerbangan, dan juga dapat mengetahui mekanisme fisis dasar dari proses-proses yang terjadi di ABL [3, 4].

Pada penelitian ini dilakukan pendugaan ketebalan ABL dari beberapa lokasi wilayah tropis dan subtropis yang ditunjukkan oleh besarnya ketinggian *Mixed Layer* (MLH) pada siang hari dan ketinggian *Residual Layer* (RLH) pada malam hari dengan terlebih dahulu menentukan besarnya variabel-variabel meteorologi yang menunjukkan karakteristik ABL. Selain itu, juga ditentukan besarnya nilai *Turbulent Flow Thickness* (TFT) yang menunjukkan ketinggian aliran turbulensi serta ditentukan pula besarnya intensitas turbulen yang terjadi pada masing-masing wilayah kajian.

2 METODOLOGI

2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data radiosonde pada tanggal 1 Februari sampai 10 Februari 2012 dari enam stasiun pengamatan (Tabel 1). Data tersebut dapat diunduh dari website WMO yaitu <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> sebagai data observasi yang diambil pada pukul 00 dan 12 UTC dan website NOAA yaitu <http://ready.arl.noaa.gov/READYamet.php> sebagai data prediksi yang diambil pada pukul 03, 06, 09, 15, 18, dan 21 UTC. Data tersebut terdiri dari data tekanan udara (P), ketinggian (Z), suhu udara (T), suhu titik embun (Td), kelembaban relatif (RH), kecepatan angin (M), dan arah angin (α).

Tabel 1 Lokasi wilayah kajian

Wilayah	Kode Stasiun	Stasiun	Ketinggian Stasiun (mdpl)		Koordinat	Lokasi
			WMO	NOAA		
Tropis	WIII	Soekarno-Hatta	8	91	6.11 ⁰ LS, 106.65 ⁰ BT	Indonesia
	WIMM	Polonia	25	242	3.56 ⁰ LU, 98.68 ⁰ BT	Indonesia
	VVDN	Da Nang	7	255	16.03 ⁰ LU, 108.20 ⁰ BT	Vietnam
Subtropis	YPPH	Perth	60	155	31.93 ⁰ LS, 115.96 ⁰ BT	Australia
	ZSNJ	Nanjing	7	39	32.00 ⁰ LU, 118.80 ⁰ BT	Cina
	29862	Hakasskaja	256	521	43.78 ⁰ LU, 87.62 ⁰ BT	Rusia

2.2 Metode Penelitian

Dalam penentuan ketinggian ABL digunakan variabel-variabel meteorologi yang menunjukkan karakteristik ABL, yaitu tekanan uap jenuh (e_s), kelembaban spesifik jenuh (q_s), dan kelembaban spesifik (q) sebagai variabel kelembaban yang digunakan untuk menentukan besarnya suhu virtual (T_v) dan suhu potensial virtual (θ_v). Parameter stabilitas statis non-lokal (s) untuk menggambarkan kondisi stabilitas atmosfer yang dapat ditentukan dari profil suhu potensial virtual [5]. *Bulk-Richardson number* (Ri_B) yang digunakan sebagai parameter stabilitas dinamis dan untuk mengidentifikasi ada atau tidaknya aliran turbulen. Analisis karakteristik ABL dapat ditentukan berdasarkan profil vertikal suhu potensial virtual (θ_v) dan kelembaban spesifik (q) untuk MLH dan RLH [6] serta profil vertikal *Bulk-Richardson number* (Ri_B) untuk menduga TFT [5]. Kemudian ditentukan kisaran nilai (*range*), rata-rata (*mean*), standar deviasi, dan standar error dari MLH, RLH, dan TFT.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perbandingan Profil Vertikal Suhu, Kelembaban, dan Kecepatan Angin di Wilayah Tropis dan Subtropis Wilayah Tropis

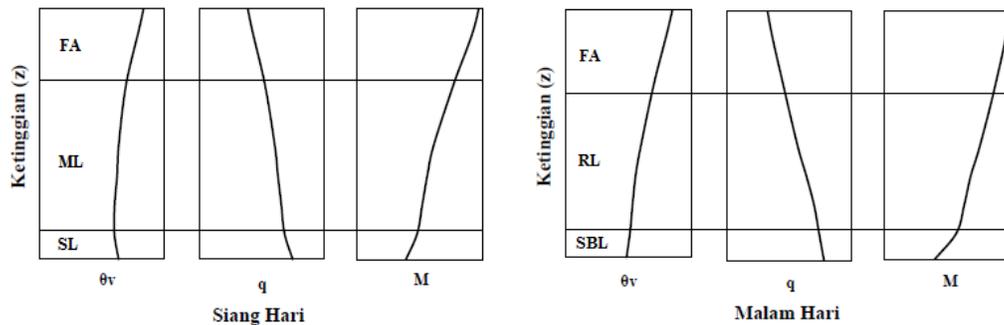
Pembagian wilayah tropis dan subtropis dilakukan berdasarkan klasifikasi iklim menurut daerah penerimaan radiasi surya, dimana wilayah tropis terletak di lintang 23.5⁰LU-23.5⁰LS dan wilayah subtropis terletak di lintang 23.5⁰LU-66.5⁰LU dan 23.5⁰LS-66.5⁰LS. Profil vertikal suhu potensial virtual, kelembaban, dan kecepatan angin di Bandara Soekarno-Hatta, Polonia, Da Nang, Perth, Nanjing, dan Hakasskaja digunakan untuk membandingkan karakter ABL di wilayah tropis dan subtropis. Salah satu karakter ABL yang penting yaitu ketebalan ABL. Pada siang hari ABL lebih tebal dibandingkan pada malam hari.

Besar kecilnya ketebalan ABL tergantung dari faktor konveksinya (gaya apung). Gaya apung merupakan selisih antara energi yang terkandung di permukaan dan parcel udara di atasnya. Apabila suhu permukaan semakin tinggi, maka selisihnya akan semakin besar, sehingga gaya apungnya juga akan semakin besar. Hal itulah yang menyebabkan semakin tebalnya ABL di suatu wilayah. Pada malam hari, tidak terjadi pemanasan, sehingga suhu permukaan lebih rendah dibandingkan suhu udara di atasnya. Hal tersebut menyebabkan terjadinya inversi (pola suhu semakin meningkat dengan bertambahnya ketinggian) pada *Surface Layer* dan kondisi atmosfer menjadi stabil. Pada kondisi atmosfer yang stabil, gaya apung tidak terjadi maka ketebalan ABL akan menurun pada malam hari.

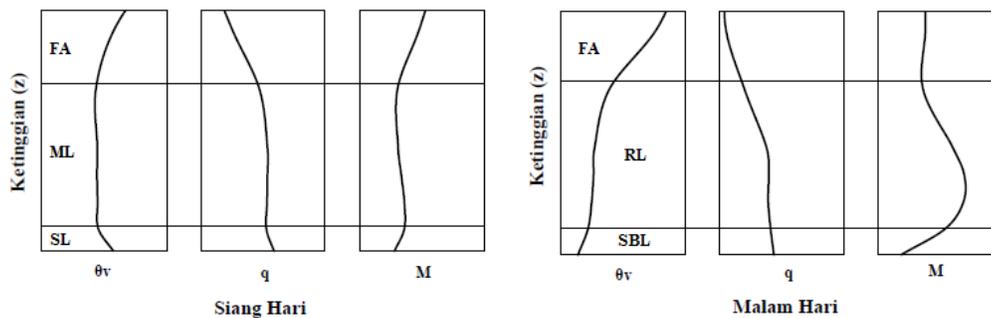
Kelembaban juga merupakan variabel yang penting dalam mengidentifikasi ABL. Di wilayah tropis, pada siang hari kelembaban cukup tinggi karena pengaruh evapotranspirasi yang tinggi. Sedangkan untuk di wilayah subtropis saat musim panas, kelembaban akan tinggi pada siang hari, tetapi pada saat musim dingin kelembaban di permukaan kecil karena evapotranspirasi rendah. Pada malam hari tidak terjadi evapotranspirasi, sehingga udara lembab berada di bagian tengah dan atas ABL.

Profil kecepatan angin di wilayah tropis dan subtropis menunjukkan pola kecepatan angin naik secara tajam pada *Surface Layer* dan semakin menurun sampai lapisan *Free Atmosphere* [7]. Sesaat setelah matahari terbenam, intensitas turbulensi berkurang yang diikuti dengan gaya gesekan pada permukaan yang menyebabkan kecepatan angin di permukaan menjadi rendah kemudian akan semakin meningkat sampai malam hari dan alirannya menjadi laminar. Saat menjelang pagi hari, kecepatan anginnya menurun dan mencapai nilai minimum pada pagi hari dan menjelang siang hari kecepatan anginnya mulai naik lagi hingga sore hari yang disertai dengan terjadinya turbulensi yang kuat.

Profil vertikal suhu potensial virtual dan kelembaban spesifik yang terdapat pada wilayah tropis yang diwakili oleh Bandara Soekarno-Hatta dan wilayah subtropis yang diwakili oleh Bandara Perth (Gambar 1 dan Gambar 2) memiliki pola yang mirip dengan hasil dari penelitian Wangara [8]. Sesaat setelah matahari terbit, permukaan mulai memanaskan dan terjadi transfer panas dari permukaan ke ABL, sehingga suhu potensial virtual pada pagi hari rendah dan semakin meningkat pada siang hari. Ketika malam hari, permukaan mengalami pendinginan dan terjadi transfer panas dari ABL ke permukaan, sehingga suhu potensial virtual lebih rendah. Sedangkan untuk profil vertikal kelembaban spesifik akan



Gambar 1 Sketsa profil vertikal suhu potensial virtual (θ_v), kelembaban spesifik (q), dan kecepatan angin (V) di ABL pada siang hari dan malam hari di Bandara Soekarno-Hatta.



Gambar 2 Sketsa profil vertikal suhu potensial virtual (θ_v), kelembaban spesifik (q), dan kecepatan angin (V) di ABL pada siang hari dan malam hari di Bandara Perth.

semakin meningkat pada siang hari, karena terjadi evaporasi yang tinggi dan kelembaban akan semakin menurun sampai malam hari.

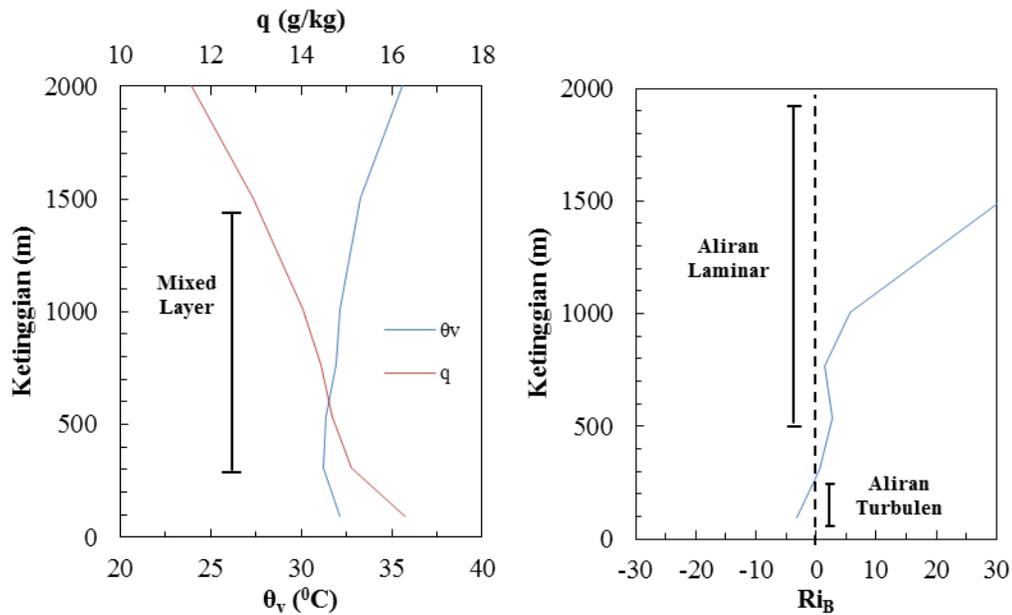
3.2 Batas Ketinggian MLH, RLH, dan TFT

Profil suhu dan kecepatan angin yang didapatkan dari radiosonde di troposfer bagian bawah sering digunakan untuk estimasi ketinggian ML secara subjektif [3]. Ketinggian ML adalah ketinggian di mana terjadi pencampuran polutan ataupun gas-gas yang tersebar secara vertikal akibat dari konveksi dan turbulensi yang dapat terbentuk dalam skala waktu satu jam. Pada umumnya, profil vertikal suhu potensial virtual (θ_v) dan kelembaban spesifik (q) dapat digunakan untuk menentukan batas atas dari ML [6]. Besarnya nilai θ_v dan q cenderung konstan di sepanjang lapisan ML dan RL, ketika θ_v dan q mencapai kemiringan yang tajam

maka menandakan bahwa pada ketinggian tersebut merupakan batas atas dari ML. Untuk lebih mudah memahaminya, dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan profil vertikal θ_v dan q , serta *Bulk-Richardson number* (Ri_B).

Pada siang hari terjadi konveksi maksimum, sehingga besarnya θ_v cenderung konstan di ML (Gambar 3a). Hal tersebut mengindikasikan bahwa terjadi pencampuran uap air yang homogen dari permukaan sampai ML dengan ketinggian 1410 m. Sedangkan nilai kelembaban spesifik pada ML tidak menunjukkan variasi yang besar yang berkisar antara 16 g/kg sampai 12 g/kg. Pada ketinggian 1410 m terjadi kemiringan yang cukup signifikan baik pada profil θ_v maupun profil q yang menandakan bahwa terdapat lapisan *Stable Inversion Layer*. Begitu juga untuk menduga ketinggian RL digunakan profil vertikal suhu potensial virtual (θ_v) dan kelembaban spesifik (q).

Besarnya Ri_B dapat digunakan untuk membedakan antara aliran yang turbulen dan laminar. Aliran laminar akan menjadi turbulen ketika nilai Ri_B dibawah *critical value*



equivalent (Ri_c) yang besarnya 0.25. Aliran turbulen akan tetap turbulen ketika $Ri_B=1$, tetapi akan menjadi laminar saat Ri_B lebih besar dari 1 [5]. Aliran turbulen terjadi dari permukaan sampai ketinggian 205 m, di mana di sepanjang lapisan tersebut besarnya Ri_B kurang dari 0.25 [Gambar 3b]. Di atas 205 m alirannya menjadi laminar. Lapisan dari permukaan sampai ketinggian 205 m disebut juga TFT. Berdasarkan hasil penentuan besarnya ketinggian ML dan TFT, maka dapat disimpulkan bahwa proses pencampuran terjadi di sepanjang lapisan ML dengan ketinggian 1410 m, dengan aliran turbulen hanya terjadi dari permukaan sampai ketinggian 205 m.

3.3 Variabilitas MLH, RLH, dan TFT

Untuk menentukan variabilitas harian dari ketinggian ML, ketinggian RL, dan TFT, maka data harian yang telah tersedia dibagi menjadi tiga kelas, yaitu (1) Malam (Pukul 15.00 UTC dan 18.00 UTC), (2) Pagi (Pukul 00.00 UTC dan 03.00 UTC), dan (3) Siang (Pukul 06.00 UTC dan 09.00 UTC). Adapun besarnya ketebalan ABL pada siang hari diwakili oleh ketinggian ML, ketebalan ABL pada malam hari diwakili oleh ketinggian RL, dan ketinggian aliran turbulensi yang diwakili oleh nilai TFT yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Pada saat pagi hari ketinggian ML masih dangkal, dimulai dari ketinggian 10 meter di mana situasinya masih cukup tenang sampai ketinggian beberapa ratus meter di mana situasinya sudah lebih kompleks. Ketinggian ML semakin meningkat secara perlahan-lahan pada pagi hari karena masih terdapat lapisan *Stable Boundary Layer* (SBL) pada malam sebelumnya yang menutupi lapisan ML yang baru tumbuh. Saat menjelang siang hari, udara yang berada di lapisan RL menjadi lebih panas, sehingga batas atas ML berkembang sampai ke dasar RL. Sejak saat itulah lapisan SBL sudah tidak ada lagi.

Ketika udara panas (*thermal*) sudah mencapai lapisan *Capping Inversion* yang merupakan puncak dari lapisan RL terjadi gerak vertikal sehingga ML menurun secara cepat. Kemudian ML akan cenderung konstan pada siang hari dan akan mencapai maksimum saat menjelang sore hari. Pada malam hari, terjadi pendinginan permukaan sehingga ML mulai menipis yang kemudian berubah menjadi SBL yang terjadi ketika kondisi atmosfer stabil. Dan di atas lapisan SBL terdapat lapisan RL yang tidak terpengaruh oleh pendinginan permukaan, oleh karena itu pada lapisan RL suhunya tetap *adiabatic lapse rate* yang berasal dari lapisan ML pada siang harinya.

Tropis		Soekarno-Hatta		Polonia		Da Nang	
Kelas		MLH/RLH (m)	TFT (m)	MLH/RLH (m)	TFT (m)	MLH/RLH (m)	TFT (m)
Malam	Range	449-925	-	299-776	-	267-779	-
	Mean	776	-	581	-	521	-
	Std.dev	143	-	164	-	107	-
	Std.error	32	-	37	-	24	-
Pagi	Range	760-926	0-218	572-838	0-78	408-1080	0-335
	Mean	842	94	766	31	742	36
	Std.dev	80	92	48	33	153	78
	Std.error	18	20	11	7	34	17
Siang	Range	899-1410	0-206	1235-1268	7-303	260-1275	0-273
	Mean	1350	118	1253	68	798	75
	Std.dev	153	60	9	76	281	88
	Std.error	34	13	2	17	63	20

Subtropis		Perth		Nanjing		Hakasskaja	
Kelas		MLH/RLH (m)	TFT (m)	MLH/RLH (m)	TFT (m)	MLH/RLH (m)	TFT (m)
Malam	Range	376-1276	-	444-1052	-	121-561	-
	Mean	831	-	910	-	305	-
	Std.dev	165	-	169	-	136	-
	Std.error	37	-	38	-	30	-
Pagi	Range	315-1435	0-655	540-1483	0-681	101-599	-
	Mean	1018	267	1014	103	360	-
	Std.dev	351	204	326	191	163	-
	Std.error	79	46	73	43	37	-
Siang	Range	352-1384	0-759	787-1471	0-769	200-666	0-41
	Mean	1295	313	1069	247	522	6
	Std.dev	225	240	221	302	112	10
	Std.error	50	54	49	68	25	2

Di daerah tropis ketinggian ML berkisar antara 260 m sampai 1410 m dan ketinggian RL berkisar antara 260 m sampai 925 m. Sedangkan di daerah subtropis ketinggian ML berkisar antara 100 m sampai 1490 m dan ketinggian RL berkisar antara 120 m sampai 1280 m. Ketinggian *Mixed Layer* di *midlatitude* dapat mencapai 1-2 km [9]. Ketinggian ML dan ketinggian RL yang diperoleh pada masing-masing wilayah kajian diperoleh nilai yang hampir sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan di Teluk Benggala di mana ketinggian ML dan ketinggian RL pada pagi hari, siang hari, dan malam hari berkisar antara 450-1500 m [10].

Pada tiga stasiun pengamatan di wilayah subtropis, Bandara Perth memiliki ketinggian ML dan ketinggian RL yang paling besar. Hal tersebut dikarenakan pada bulan Februari di wilayah Perth sedang terjadi musim panas, sehingga siang harinya lebih panjang daripada

malam hari, oleh karena itu ketinggian ML menjadi lebih besar. Ketika malam hari, permukaan masih menyimpan panas sehingga ketinggian RL juga lebih tinggi. Sedangkan di daerah tropis rata-rata ketinggian ML dan ketinggian RL terbesar terjadi di Bandara Soekarno-Hatta. Hal tersebut terjadi karena cuaca di Bandara Soekarno-Hatta cenderung lebih panas dibandingkan Bandara Polonia dan Da Nang.

Turbulensi merupakan suatu aliran yang terjadi di ABL yang tidak beraturan dan memiliki karakter tiga dimensi. Turbulensi dipengaruhi oleh profil kecepatan angin dan biasanya terjadi di lapisan ML. Dalam mengidentifikasi aliran turbulensi dapat digunakan parameter *Bulk-Richardson number* (Ri_B). Di dekat permukaan, turbulensi menguat pada saat *lapse rate* dan akan melemah saat inversi. Besarnya TFT di daerah tropis berkisar antara 0 m sampai 335 m dengan rata-rata TFT terbesar terdapat di Bandara Soekarno-Hatta. Sedangkan besarnya TFT di daerah subtropis berkisar antara 0 m sampai 770 m dengan rata-rata TFT terbesar terdapat di Bandara Perth. Hasil yang diperoleh tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian di Teluk Benggala di mana TFT berkisar antara 125 sampai 1475 m [10].

4 KESIMPULAN

Salah satu karakter ABL yang penting adalah ketebalan ABL. Dalam menentukan ketebalan ABL digunakan profil vertikal diurnal dan nokturnal dari variabel-variabel meteorologi yaitu suhu potensial virtual, kelembaban spesifik, kecepatan dan arah angin, *Bulk-Richardson number*, dan stabilitas atmosfer. Di wilayah tropis ketinggian ML berkisar antara 260 m sampai 1410 m, ketinggian RL berkisar antara 267 m sampai 925 m, dan TFT berkisar antara 0 m sampai 335 m. Ketinggian ML, RL, dan TFT tertinggi terdapat di Bandara Soekarno-Hatta. Sedangkan di wilayah subtropis ketinggian ML berkisar antara 101 m sampai 1483 m, ketinggian RL berkisar antara 121 m sampai 1276 m, dan TFT berkisar antara 0 m sampai 769 m. Ketinggian ML, RL, dan TFT tertinggi terdapat di Bandara Perth.

Pada umumnya ketebalan ABL di daerah tropis lebih besar dibandingkan di daerah subtropis, tetapi ketebalan ABL di daerah subtropis dapat lebih besar dibandingkan di daerah tropis apabila di daerah subtropis sedang terjadi musim panas. Kondisi ML, RL, dan TFT di wilayah kajian dipengaruhi oleh perbedaan gradien tekanan antara permukaan dan udara di atasnya, perbedaan suhu udara permukaan dengan suhu dari parsel udara di atasnya, kelembaban udara, dan faktor shear angin.

PUSTAKA

- [1] Tucker SC, Brewer WA, Banta RM, Senff CJ, Sandberg SP, Law DC, Weickmann AM, dan Hardesty RM .2009. Doppler Lidar Estimation of Mixing Height Using Turbulence, Shear, and Aerosol Profiles. *Atmospheric and Oceanic Technology*. DOI: 10.1175/2008JTECHA1157.1
- [2] Medeiros B, Hall A, dan Stevens B. 2005. What Controls the Mean Depth of the PBL?. *Climate* 18:3157-3172.
- [3] Seibert P, Beyrich F, Gryning SE, Joffre S, Rasmussen A, dan Tercier P. 2000. Review and Intercomparison of Operational Methods for The Determination of The Mixing Height. *Atmospheric Environment* 34:1001-1027.
- [4] Affandi R. 2010. Studi Sensitifitas Skema Lapisan Batas Planer Dalam Simulasi Parameter Angin (Studi Kasus Wilayah Pantai Utara Papua). *Megasains* 1(4):230-238.
- [5] Arya PS. 2001. *Introduction to Micrometeorology*. Second Edition. San Diego, New York, Berkeley, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press, Inc.
- [6] Nair SK, Anurose TJ, Subrahmanyam DB, Kumar NVPK., Santosh M, Sijikumar S, Mohan M, dan Namboodiri KVS. 2011. Characterization of the Vertical Structure of Coastal Atmospheric Boundary Layer over Thumba (8.5⁰N, 76.9⁰E) during Different Seasons. *Advanced in Meteorology* 2011:1-9. doi:10.1155/2011/390826.
- [7] Wallace JM dan Hobbs PV. 2006. *Atmospheric Science*. Second Edition. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Fransisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier Academic Press.
- [8] Arya PS. 1999. *Air Pollution Meteorology and Dispersion*. New York: Oxford University Press.
- [9] Stull RB. 1999. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. London: Kluwer Academic Publishers.
- [10] Subrahmanyam DB, Anurose TJ, Kumar, NVPK, Mohan M., Kunhikrishnan PK., John SR, Prijith SS, dan Dutt CBS. 2012. Spatial and Temporal Variabilities in Vertical Structure of the Marine Atmospheric Boundary Layer (MABL) over Bay of Bengal during Winter Phase of Integrated Campaign for Aerosols, Gases, and Radiation Budget. *Atmospheric Research* 107:178-185.

PENDEKATAN MIKROMETEOROLOGI UNTUK PENDUGAAN NERACA KARBON HUTAN: SISTEM KORELASI *EDDY*

Tania June

Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA-IPB
tania.june@yahoo.com

ABSTRAK

Sistem korelasi eddy (dikenal juga dengan sistem *eddy covariance* atau fluks eddy) , merupakan tehnik pengukuran fluks vertikal turbulen pada lapisan perbatas atmosfer. Metoda ini digunakan dengan melakukan analisa data series kecepatan angin (yang dicatat pada frekuensi tinggi) dan materi untuk memperoleh besaran transfer vertikal dari uap air dan gas-gas (misalnya CO₂) di atmosfer. Tehnik ini menggunakan pendekatan mikrometeorologi untuk menentukan laju pertukaran sifat-sifat atmosfer (momentum, bahang, uap air, CO₂) antara permukaan dengan atmosfer di atasnya, dan dapat diaplikasikan pada berbagai permukaan seperti hutan, lahan pertanian/perkebunan , wilayah industri, laut, perkotaan.

Neraca karbon ekosistem hutan telah menjadi topik penelitian yang sangat menarik karena keterkaitan yang sangat erat dengan penanganan perubahan iklim dan pentingnya fungsi hutan sebagai *sink* karbon. Oleh karena itu diperlukan pengukuran yang akurat , yang mengakomodasi variabilitas harian maupun musiman, yang tidak dapat diperoleh melalui pengukuran konvensional (melalui pengukuran penambahan biomassa). Dengan menggunakan metode korelasi eddy dinamika penyerapan karbon melalui proses fotosintesis (GPP) dan pengeluaran karbon melalui proses respirasi (RE) dapat diukur dengan akurat sehingga keseimbangan penyerapan karbon (NEE) dapat dikuantifikasi.

Makalah ini membahas mengenai sistem korelasi eddy, latar belakang teori, peralatan yang digunakan dan cara kerjanya, analisa data serta contoh pengukuran yang dilakukan di Hutan Gambut di Kalimantan Tengah, yang datanya dapat digunakan untuk menentukan dinamika pertukaran karbon antara ekosistem hutan dengan atmosfer di atasnya.

Kata kunci: perubahan iklim, sistem korelasi *eddy*, neraca karbon, mikrometeorologi.

1. PENDAHULUAN

Konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) di atmosfer meningkat dengan laju mencapai 1.9 ppmv per tahun dari 1995 sampai 2005 [1]. Memahami siklus karbon pada sistem tanah-tanaman-atmosfer sangatlah penting untuk dapat menentukan pengaruh kenaikan CO₂ (dan perubahan iklim) terhadap kapasitas penyerapan tanaman terhadap gas CO₂ melalui proses fotosintesis. Keluar masuknya gas CO₂ dari/ke permukaan kanopi tanaman akan menentukan tersimpannya atau hilangnya C dari suatu ekosistem hutan dan proses ini disebut Net Ecosystem Exchange (NEE). NEE merupakan selisih antara *Gross Primary Production* (GPP) dengan RE (*Ecosystem respiration*, yaitu respirasi dari tanaman dan tanah).

Pendekatan mikrometeorologi, melalui metode korelasi eddy telah secara luas digunakan untuk mengukur NEE dengan menggunakan *sonic anemometer* dan gas analyzer yang tersusun di dalam sistem korelasi eddy [2,3,4,5]

Makalah ini membahas bagaimana metode ini dapat digunakan untuk menduga neraca karbon dari suatu ekosistem hutan gambut di Kalimantan Tengah, peralatan yang diperlukan, persyaratan lokasi pemasangan peralatan dan bagaimana hasil pengukuran dapat dianalisa untuk melihat dinamika penyerapan/emisi CO₂ dari ekosistem hutan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Latar belakang teori metode korelasi eddy

Metode korelasi eddy merupakan bagian dari metode mikrometeorologi yang dapat mengukur proses pertukaran massa dan energi (fluks massa dan energi) secara langsung antara permukaan dengan atmosfer di atasnya. Metode ini mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan metode lain karena:

- a. dilakukan secara *in situ*, sehingga bersifat *non-intrusive*;
- b. dapat dilakukan secara kontinu dari skala waktu detik sampai tahun;
- c. satu titik pengukuran dapat mewakili pertukaran massa dan energi dari wilayah sepanjang 100 m – 2 km.

Prinsip umum dari pengukuran fluks adalah mengukur jumlah molekul (CO₂) yang bergerak ke atas dan ke bawah pada waktu tertentu dan seberapa cepat pergerakan tersebut terjadi. Pada dasarnya metode ini menggambarkan pergerakan fluks vertikal sebagai kovarian kecepatan angin vertikal, arah pergerakan (ke atas dan ke bawah) dan dari konsentrasi gas yang diukur. Pengukuran ini membutuhkan sensor yang mempunyai respon yang tinggi karena fluktuasi turbulen (yang membawa gas CO₂) terjadi dengan sangat cepat; dan sensor tersebut harus mampu mencatat perubahan konsentrasi, kerapatan udara dan suhu yang sangat kecil secara akurat. Pada aliran turbulen, fluks vertikal mengikuti persamaan:

$$F \approx \overline{\rho_a w' s'} \quad (1)$$

dimana fluks vertikal merupakan hasil kali dari kerapatan udara rata-rata, kecepatan angin vertikal rata-rata dan ratio percampuran (*mixing ratio*) dari gas (CO₂) yang diukur [6].

Peralatan sistem korelasi eddy haruslah dipasang pada lapisan perbatas dari kanopi hutan yang akan diukur, yaitu di dalam lapisan fluks tetap (*constant flux layer*) dengan persyaratan *fetch* dan *footprint* terpenuhi serta pada permukaan yang relatif rata dan seragam dimana fluktuasi kerapatan, konvergensi dan divergensi aliran udara dianggap tidak ada [7].

2.2. Pemasangan Peralatan dan prinsip pengukuran (Contoh di Kalimantan Tengah)

Pengukuran fluks CO₂ dengan menggunakan metode korelasi eddy ini dilakukan di atas kanopi Hutan Gambut sekunder di Kalimantan Tengah (pada jarak sekitar 17 km arah tenggara dari Kota Palangkaraya), pada ketinggian 30-40 meter di atas permukaan laut, pada posisi geografis 2°19' - 2°21' LS dan 114°00' - 114°03' BT. Tinggi kanopi hutan lebih kurang 26 m dengan indeks luas daun 2.2. Peralatan dipasang pada ketinggian 47 m di atas permukaan tanah dengan menggunakan menara (Gambar 1) setinggi 50 meter. Wilayah penelitian mempunyai karakteristik iklim dengan suhu udara rata-rata 24 – 29 °C, RH 60 – 90% dan curah hujan 2400 mm/tahun. Penelitian merupakan bagian dari kerjasama IPB-JSPS (Hokaido University) dan Universitas Palangkaraya.

NEE, *Net Ecosystem exchange* diukur secara kontinu dengan menggunakan sistem korelasi eddy yang terdiri dari *sonic anemometer (CSAT3, Campbell Scientific)* dan *open-path infrared gas analyzer (LI-7500, LI-COR)*, yang dipasang bersama-sama dengan peralatan meteorologi yang lainnya. Persyaratan *footprint* dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$CF_{(x_L)} = - \int_0^{x_L} \frac{U(z-d)}{U_* k x^2} e^{-\frac{U(z-d)}{U_* k x}} dx = e^{-\frac{U(z-d)}{U_* k x_L}} \quad (2)$$

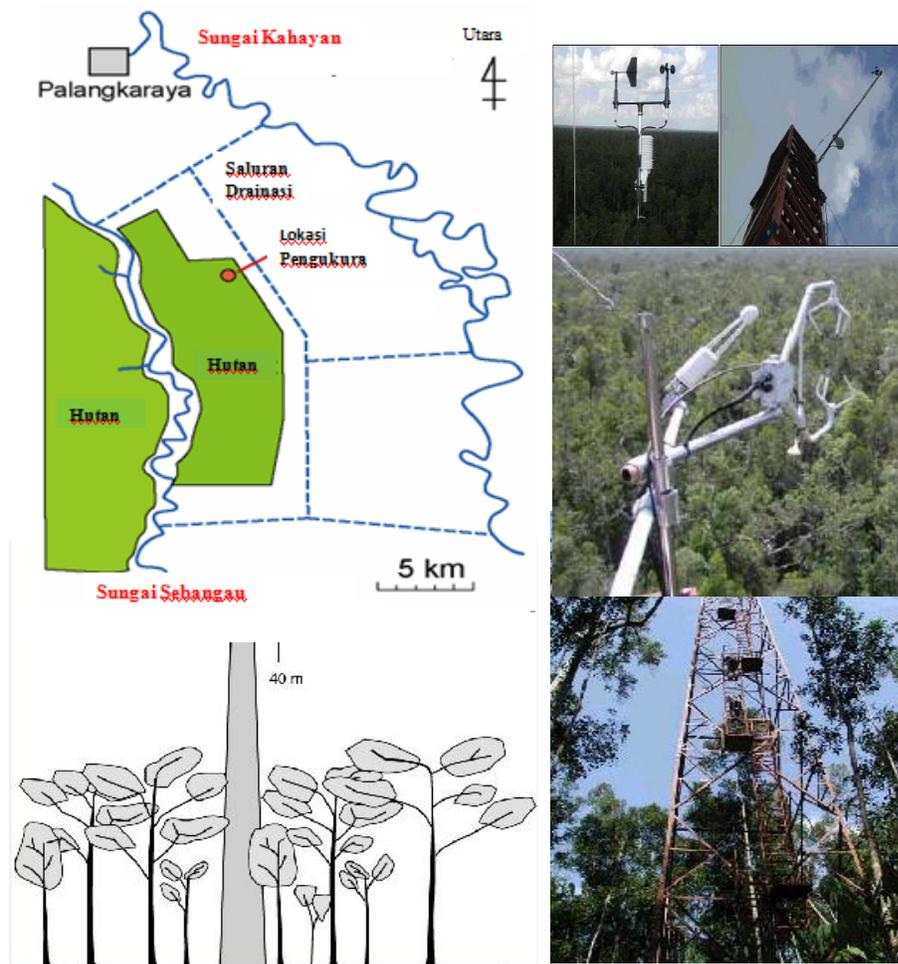
dimana CF adalah kontribusi kumulatif terhadap pengukuran fluks (%); x_L adalah jarak dari lokasi pengukuran (meter) ; U kecepatan angin rata-rata (ms^{-1}); z tinggi pengukuran (meter); u^* kecepatan kasap (ms^{-1}); d perpindahan bidang nol (meter) dan k konstanta von Karman (0.4). Berdasarkan persyaratan *footprint* ini maka hanya data dari arah Selatan sampai Barat saja yang digunakan untuk analisa data selanjutnya (Gambar 1).

Pada prinsipnya pengukuran fluks CO₂ dan analisa data mengikuti persamaan:

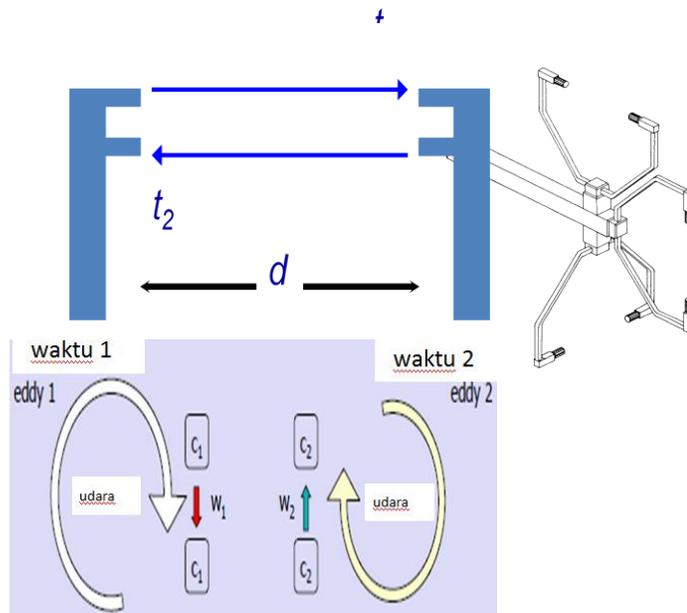
$$F_c = \overline{w' \rho_c'} \quad (3)$$

$$F_c = (ms^{-1}) \times (mg\ m^{-3}) = mg\ m^{-2}s^{-1} \quad (4)$$

dimana w' diukur dengan menggunakan *sonic anemometer* dan ratio percampuran gas CO_2 diukur dengan menggunakan IRGA (*gas analyzer*). Sonic anemometer mengukur perbedaan waktu tempuh sinyal akustik massa udara yang bergerak pada jalur yang sama tetapi berlawanan arah (Gambar 2). Gas analyzer menggunakan sensor *Non-dispersive infrared* (NDIR), dimana sinar inframerah *broadband* dilewatkan melalui konsentrasi gas dan CO_2 akan menyerap pada band $4.26\ \mu m$ (sementara H_2O akan menyerap pada $2.59\ \mu m$) [8].



Gambar 1. Lokasi pemasangan peralatan sistem korelasi *eddy* di wilayah bekas lahan sejuta hektar, Kalimantan Tengah.

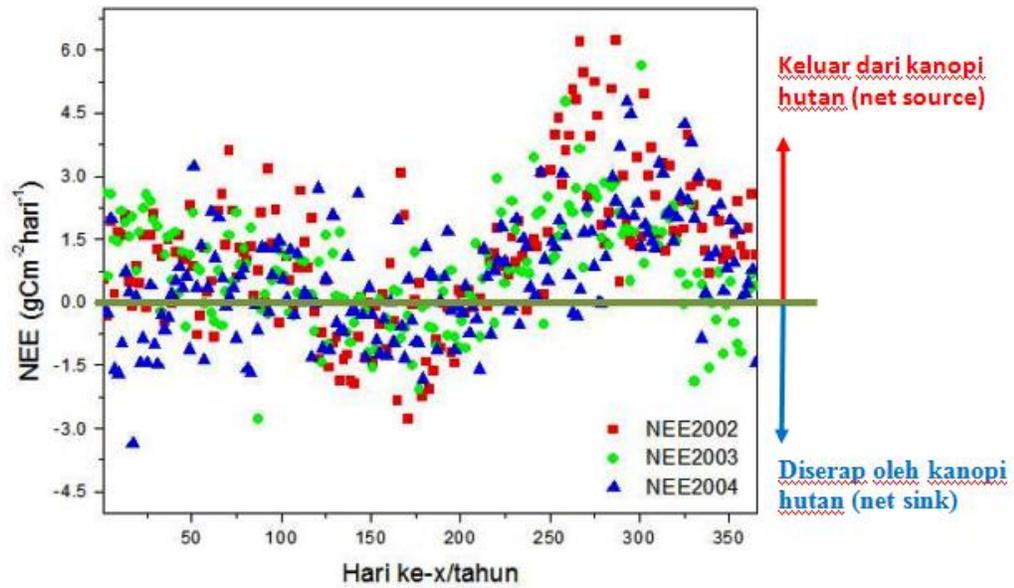


Gambar 2. Prinsip kerja *sonic anemometer*. Sensor dapat deteksi suara dari massa udara yang bergerak sejauh d dalam waktu t dengan dengan kecepatan w membawa serta konsentrasi gas CO₂ sebesar c . Deviasi dari komponen-komponen ini akan menentukan besarnya pergerakan netto gas CO₂ dan arahnya, sehingga dapat ditentukan apakah kanopi hutan yang diukur merupakan *sink* atau *source* dari gas CO₂ pada waktu tertentu.

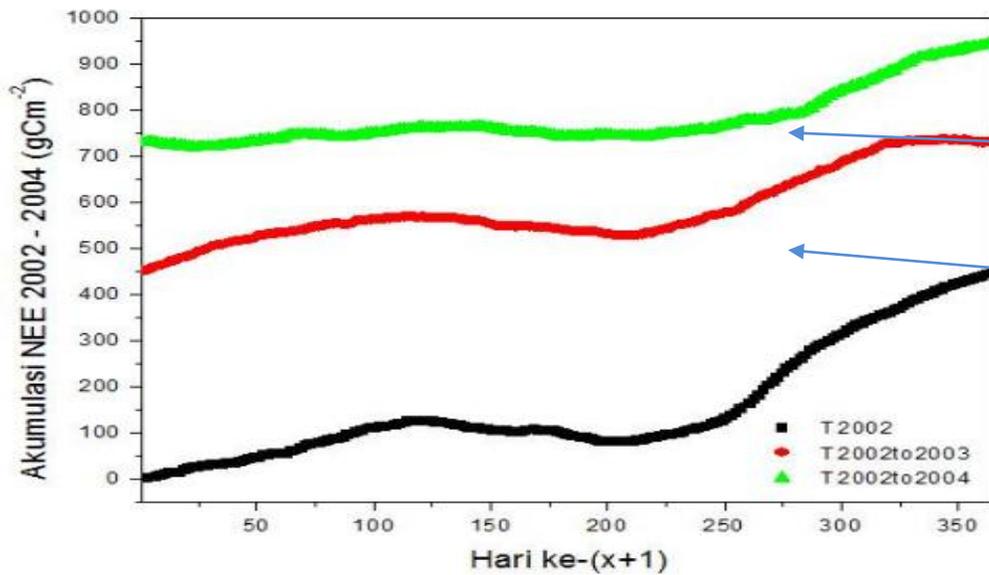
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran selama 3 tahun, yaitu dari 2002-2004 diperlihatkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa pergerakan gas CO₂ menjauh dari kanopi tanaman terjadi lebih sering setiap harinya daripada pergerakan menuju kanopi tanaman, menunjukkan proses pengeluaran gas CO₂ (dari respirasi tanaman dan mikroorganisme tanah, R_E) lebih besar daripada proses penyerapannya melalui proses fotosintesis (GPP). Laju akumulasi pelepasan gas CO₂ harian selama periode 2002 - 2004 ke atmosfer dapat dilihat pada Gambar 4) (akumulasi NEE). Tahun 2002 merupakan tahun dengan laju emisi terbesar dibandingkan tahun 2003 dan 2004. Emisi terendah terjadi pada tahun 2004, berkurang lebih dari 100 % dari emisi tahun 2002. Tabel 1 memperlihatkan akumulasi pelepasan gas CO₂ sebesar 940 gC m⁻². Pelepasan yang besar ini disebabkan karena besarnya respirasi dari wilayah pengukuran. Wilayah pengukuran merupakan hutan gambut sekunder yang terdegradasi, dimana drainasi secara ekstensif dilakukan sehingga lahan mengalami pengeringan dan proses dekomposisi terjadi dengan laju yang tinggi. Tingginya penyerapan CO₂ melalui proses fotosintesis (yang

ditunjukkan dengan nilai GPP) tidak dapat menandingi besarnya emisi (R_E), sehingga wilayah ini merupakan sumber CO_2 ke atmosfer dan memberikan kontribusi terhadap peningkatan konsentrasi CO_2 dan kenaikan suhu global.



Gambar 3. Transfer CO_2 dari/ke kanopi hutan pada tahun 2002, 2003 dan 2004, menunjukkan nilai NEE negative (*net sink*) dan NEE positif (*net source*)



Gambar 4. Akumulasi NEE periode 2002 – 2004

Tabel 1. Keseimbangan fluks CO₂ tahun 2002 – 2004.

Tahun	NEE (gC m⁻² tahun⁻¹)	RE (gC m⁻² tahun⁻¹)	GPP (gC m⁻² tahun⁻¹)
2002	447	3439	- 2992
2003	282	3366	- 3084
2004	211	3487	- 3276
Akumulasi 2002 -2004	940	10292	- 9352

4. KESIMPULAN

Sistem korelasi eddy merupakan metode yang secara langsung memberikan data fluks vertikal gas CO₂ yang diukur. Besarnya fluks dihitung dari kovarian deviasi kecepatan angin vertikal sesaat dan kovarian deviasi konsentrasi gas CO₂. Keakuratan metode ini tergantung dari adanya pertukaran turbulen (eddy) dan peralatan yang mempunyai respon tinggi. Metode ini menggunakan pendekatan pengukuran langsung dari fluks CO₂. Penggunaan sistem korelasi eddy untuk mengukur secara langsung fluks CO₂ dari/ke permukaan hutan merupakan metode yang lebih mudah daripada menggunakan metode konvensional (menggunakan metode destruktif dengan pengukuran perubahan biomassa tanaman) untuk observasi dinamika penyerapan dan emisi CO₂ dari ekosistem hutan. Aplikasi penginderaan jauh (yang terintegrasi dengan pemodelan) dapat digunakan untuk scaling up pengukuran ke wilayah yang lebih luas.

Metode ini saat ini berkembang pesat dan digunakan pada berbagai titik pengukuran di seluruh dunia dan mempunyai prospek pemanfaatan pada berbagai ekosistem (darat dan laut), untuk studi penyerapan karbon dari berbagai ekosistem, industri dan aplikasi monitoring lainnya.

PUSTAKA

- [1] Climate changes 2007. Cambridge University Press, Cambridge, UK. [2]. Verma *et al*, 1986

- [2] Baldocchi, D.D., B.B. Hicks and T.P. Meyers. 1988. 'Measuring biosphere-Atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods', *Ecology*, **69**, 1331-1340.
- [4] Denmead, O.T. and M.R. Raupach. 1993. Methods for measuring atmospheric gas transport in agricultural and forest systems. In: *Agricultural Ecosystem Effects on Trace Gases and Global Climate Change*. American Society of Agronomy.
- [5] Kaimal, J.C. and J.J. Finnigan. 1994. *Atmospheric Boundary Layer Flows: Their Structure and Measurement*. Oxford University Press, Oxford, UK. 289 pp.
- [6] Rosenberg, N.J., B.L. Blad & S.B. Verma. 1983. *Microclimate. The biological environment*. A. Wiley-interscience publication. New York. 255-257.
- [7] Lee, X., Massman, W. and Law, B.E., 2004. *Handbook of micrometeorology. A guide for surface flux measurement and analysis*. Kluwer Academic Press, Dordrecht, 250 pp.
- [8] *Practical Handbook of Tower Flux Observations, by Forest Meteorology Research Group of the Forestry and Forest Products Research Institute*
http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/flux/manual_e.html

**ANALISIS PENGARUH CURAH HUJAN TERHADAP
PRODUKTIVITAS GARAM
STUDI KASUS: PEGARAMAN I SUMENEP PT. GARAM (PERSERO)**

Akfia Rizka Kumala^{1*}, Yon Sugiarto²

Institut Pertanian Bogor, Bogor¹

e-mail: akfia45@yahoo.co.id, Departemen Geofisika dan Meteorologi,

FMIPA IPB Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680

Institut Pertanian Bogor, Bogor²

ABSTRAK

Garam adalah salah satu komoditas pangan di Indonesia yang sangat tergantung pada iklim. Indonesia dengan curah hujan relatif tinggi dan dipengaruhi oleh keragaman iklim seperti *El-Nino Southern Oscillation* (ENSO) menjadi faktor pembatas proses produksi garam evaporasi. Penelitian ini menganalisis pengaruh curah hujan terhadap produktivitas garam di Pegaraman I Sumenep. Regresi linier digunakan untuk mendapatkan nilai sifat setiap kelompok kolam peminihan (evaporasi) akibat curah hujan. Semakin tinggi konsentrasi air garam di dalam kolam peminihan, semakin sensitif kolam tersebut terhadap curah hujan. Curah hujan dan frekuensi hari hujan selama produksi mempengaruhi penurunan produktivitas garam. Awal musim kemarau dan hujan di lokasi Pegaraman I Sumenep PT. Garam (Persero) mengalami penyimpangan akibat fenomena ENSO berdasarkan korelasi Indeks Osilasi Selatan (IOS) dengan anomali awal musim hujan dan kemarau selama periode 1999-2011. Produktivitas garam selama 1999-2011 dapat direpresantasikan oleh IOS musim kemarau dengan koefisien determinasi sebesar 54.8%.

Katakunci: curah hujan, ENSO, kolam peminihan, produktivitas garam

1 PENDAHULUAN

Total kebutuhan garam nasional mencapai 3.2 juta ton per tahun. Proses produksi garam sangat bergantung pada faktor cuaca. Garam diproduksi dengan cara menguapkan air laut yang dipompa di lahan pegaraman. Kondisi cuaca menjadi salah satu penentu keberhasilan target produksi garam (Korovessis dan Lekkas 2006; DKP 2003).

Sementara itu, iklim Indonesia secara umum dipengaruhi oleh monsun dan terbagi menjadi dua musim, yakni musim hujan dan kemarau. Selain itu, kondisi iklim Indonesia juga dipengaruhi oleh keragaman iklim global, seperti ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*) (Kirono *et al.* 1999; Hendon 2003; Peel, McMahon 2002; Tjasyono 2003). Fenomena tersebut seringkali menyebabkan hujan di sela-sela musim kemarau dan penyimpangan awal serta akhir musim kemarau. Oleh sebab itu penelitian ini menganalisis pengaruh curah hujan dan faktor-faktor yang mempengaruhi curah hujan pada saat proses produksi terhadap produktivitas garam tahunan.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Data

Data yang digunakan dalam kajian ini antara lain: data curah hujan dan konsentrasi air garam (salinitas) harian selama musim produksi tahun 2009-2011 serta data curah hujan dasarian dan produktivitas garam tahunan tahun 1999-2011 Pegaraman I Sumenep, PT. Garam (Persero). Selain itu, digunakan pula data Indeks Osilasi Selatan (IOS) atau SOI (*South Oscillation Index*) Nino 3.4 tahun 1999-2011 yang bersumber dari Bureau of Meteorology Australia (<http://www.bom.gov.au/climate>).

2.2 Analisis Klaster

Data salinitas air garam pada lahan peminihan A dan B digunakan sebagai dasar pengelompokan kolam berdasarkan salinitas. Kolam pada masing-masing lahan peminihan dikelompokkan berdasarkan kemiripan sifat konsentrasi air garam dengan metode *euclidean* dan *ward linkage* (Wilks 2006) menggunakan perangkat lunak minitab 14.

2.3 Analisis Pengaruh Curah Hujan terhadap Produktivitas Garam

Analisis pengaruh curah hujan terhadap perubahan salinitas dilakukan menggunakan metode regresi linier untuk mendapatkan koefisien determinasi (r^2) dan persamaan regresi yang terbentuk curah hujan hari ke- i sebagai sumbu- x dengan perubahan salinitas (dS) antara hari ke- i dengan hari ke- $(i-1)$ sebagai sumbu- y selama proses produksi tahun 2009-2011. Analisis dilakukan untuk setiap kelompok kolam peminihan baik A maupun B.

Analisis pengaruh curah hujan terhadap produktivitas garam tahunan dilakukan dengan menghubungkan data produksi garam dan curah hujan selama produksi garam sehingga tampak tren perubahan curah hujan dan produksi garam sejak tahun 1999 hingga 2011. Bulan produksi selama tahun 1999-2008 dihitung dari rata-rata bulan produksi tahun 2009-2011. Selain itu dilihat pula hubungan antara frekuensi kejadian hujan selama masa produksi garam dengan produktivitas total secara linier.

2.4 Analisis Pengaruh Keragaman Iklim terhadap Musim dan Produktivitas Garam

Pengaruh ENSO terhadap musim di Sumenep dilakukan dengan melihat hubungan antara anomali awal musim hujan (AAMH) maupun kemarau (AAMK) dari nilai rata-rata

dengan *South Oscillation index* (SOI) Nino 3.4. Metode ini mengacu pada Boer *et al.* (2007) dan Webster, Yang (1992). Anomali AMH dan AMK dihitung menggunakan persamaan (1).

$$AAMH = AMH_i - \frac{\sum_{i=1}^n AMH_i}{n} \quad (1)$$

dengan i = tahun ke- dan n = jumlah data

Musim kering dinyatakan telah dimulai apabila curah hujan dalam satu dasarian dan dasarian berikutnya kurang dari 50 mm. Musim hujan dimulai jika curah hujan dalam satu dasarian dan dasarian berikutnya lebih besar atau sama dengan 50 mm (Schmidt dan Ferguson 1951 dalam Tjasyono 2004).

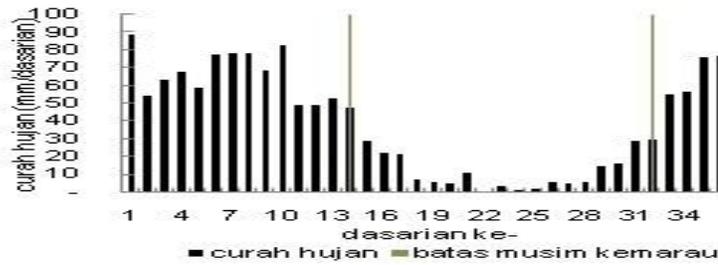
Hubungan antara SOI dengan produktivitas garam dianalisis untuk mengetahui pengaruh SOI secara langsung pada produktivitas garam. Everingham *et al.* (2002) juga menggunakan SOI dalam mempelajari prediksi produktivitas gula pada manajemen industri gula. SOI dalam penelitian ini menggunakan data BOM (Bureau of Meteorology Australia), di mana La-Nina terjadi jika SOI positif dan El-Nino jika SOI negatif, dan netral jika SOI antara -5 sampai 5.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Umum

Pegaraman I PT. Garam (Persero) terletak di Desa Pinggirpapas Kecamatan Kalianget, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur. Kabupaten ini terletak di ujung timur Pulau Madura yang terletak pada 113°32'54" sampai 116°16'48" BT dan 4°55'-7°24' LS.

Kabupaten Sumenep berdasarkan klasifikasi Koppen tergolong bertipe iklim Aw, sedangkan berdasarkan klasifikasi Schmidt dan Ferguson bertipe iklim D. Kabupaten Sumenep memiliki iklim savana tropis yang kering pada saat musim dingin dengan jumlah bulan kering per jumlah bulan hujan dalam satu tahun rata-rata antara 0.6 sampai 1. Artinya bulan kering di Sumenep rata-rata 3.5-6 bulan pada musim dingin. Kondisi ini memenuhi syarat pegaraman (Hernanto dan Kwartatmono 2001). Berdasarkan data curah hujan tahun 1999-2011, Kabupaten Sumenep memiliki tipe curah hujan monsun (Gambar 1). Awal musim kemarau Kabupaten Sumenep rata-rata pada dasarian ke-14 (pertengahan Mei) dan berakhir pada pertengahan bulan November (dasarian 32).



Gambar 1 Curah hujan dasarian rata-rata serta panjang musim kemarau Pegaraman I Sumenep selama periode 1999-2011

Lahan pegaraman milik PT. Garam (Persero) di Kalianget adalah 2682.8 ha (Saputro *et al.* 2011). Lahan peminihan (evaporasi) A 148.7 ha dan B 117.1 ha. Sistem produksi garam yang dilakukan adalah dengan menggunakan sistem evaporasi bertingkat atau metode Portugis. Kolam peminihan merupakan kolam yang digunakan untuk menguapkan air laut dengan susunan topografi bertingkat dari salinitas terendah yang dapat mengalir melalui pintu-pintu air. Selain itu terdapat meja-meja kristalisasi yang digunakan untuk mengristalkan garam. Berdasarkan hasil analisis kluster, kolam peminihan A dan B dikelompokkan menjadi empat kelas, yakni kolam dengan salinitas rendah (I), sedang (II), tinggi (III), dan sangat tinggi (IV). DKP (2003) juga mengelompokkan lahan peminihan bertingkat ke dalam empat kelompok menurut karakteristik air garam.

3.2 Pengaruh Curah Hujan terhadap Perubahan Salinitas

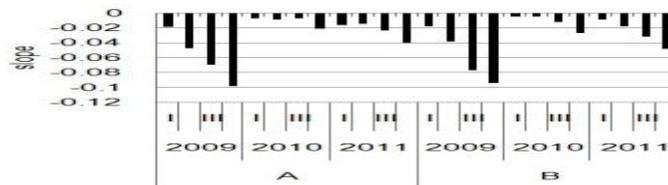
Curah hujan memberikan dampak negatif terhadap perubahan salinitas air garam pada kolam-kolam peminihan. Kondisi ini dibuktikan dengan slop negatif yang dihasilkan oleh persamaan regresi antara curah hujan dengan perubahan salinitas pada masing-masing kolam peminihan. Hal ini sesuai dengan pernyataan DKP (2003); Davis (2000); Hernanto dan Kwartatmono (2001); Korovessis dan Lekkas (2006); Mottershead dan Davidson (2008); Zhiling dan Guangyu (2009).

Tabel 1 Persamaan regresi dan koefisien determinasi curah hujan terhadap perubahan salinitas

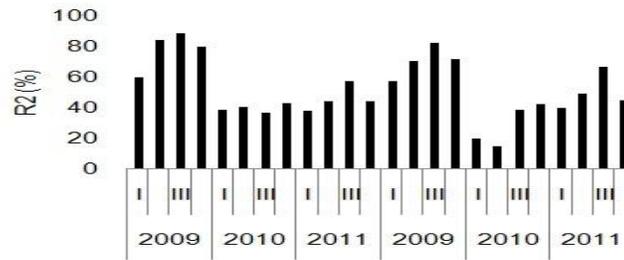
Pem	Klas	Tahun 2009		Tahun 2010		Tahun 2011	
		Persamaan Regresi	R ²	Persamaan Regresi	R ²	Persamaan Regresi	R ²

			(%)		(%)		(%)
A	I	$dS=0.074-0.018CH$	59.5	$dS=0.035-0.007CH$	38.7	$dS=0.003-0.016CH$	38
	II	$dS=0.164-0.047CH$	84	$dS=0.055-0.009CH$	40.2	$dS=0-0.015CH$	43.9
	III	$dS=0.234-0.068CH$	88.4	$dS=0.018-0.007CH$	36.8	$dS=0.065-0.024CH$	56.9
	IV	$dS=0.317-0.098CH$	79.2	$dS=0.103-0.021CH$	43	$dS=0.04-0.04CH$	44
B	I	$dS=0.057-0.018CH$	57.3	$dS=0.028-0.005CH$	20	$dS=0.02-0.009CH$	39.8
	II	$dS=0.183-0.038CH$	69.9	$dS=-0.003-0.005CH$	15.2	$dS=0.061-0.018CH$	49.2
	III	$dS=0.242-0.077CH$	82	$dS=0.046-0.012CH$	38.6	$dS=0.034-0.032CH$	66.3
	IV	$dS=0.253-0.094CH$	71.6	$dS=0.081-0.027CH$	42.5	$dS=-0.009-0.048CH$	44.8

Respon masing-masing kelompok kolam pemeliharaan terhadap curah hujan yang sama tampak berbeda (Tabel 1). Hal ini dilihat dari nilai slop yang semakin besar seiring dengan kenaikan salinitas air garam pada kolam pemeliharaan (Gambar 2). Namun kondisi tersebut dipenuhi apabila salinitas benar-benar mengalami peningkatan secara signifikan dari ke hari. Oleh sebab itu hal ini tidak terjadi pada tahun dengan curah hujan besar selama musim produksi garam, seperti pada tahun 2010. Hal ini dapat dibuktikan dari koefisien determinasi yang dihasilkan (Gambar 3). Koefisien determinasi cukup tinggi pada tahun kemarau yang kering, seperti tahun 2009. Koefisien determinasi yang tinggi menunjukkan kemampuan curah hujan merepresentasikan perubahan salinitas. Oleh sebab itu tahun 2010, di mana terjadi curah hujan dengan frekuensi tinggi dan jumlah yang banyak, curah hujan justru tidak mampu merepresentasikan penurunan salinitas dengan baik.



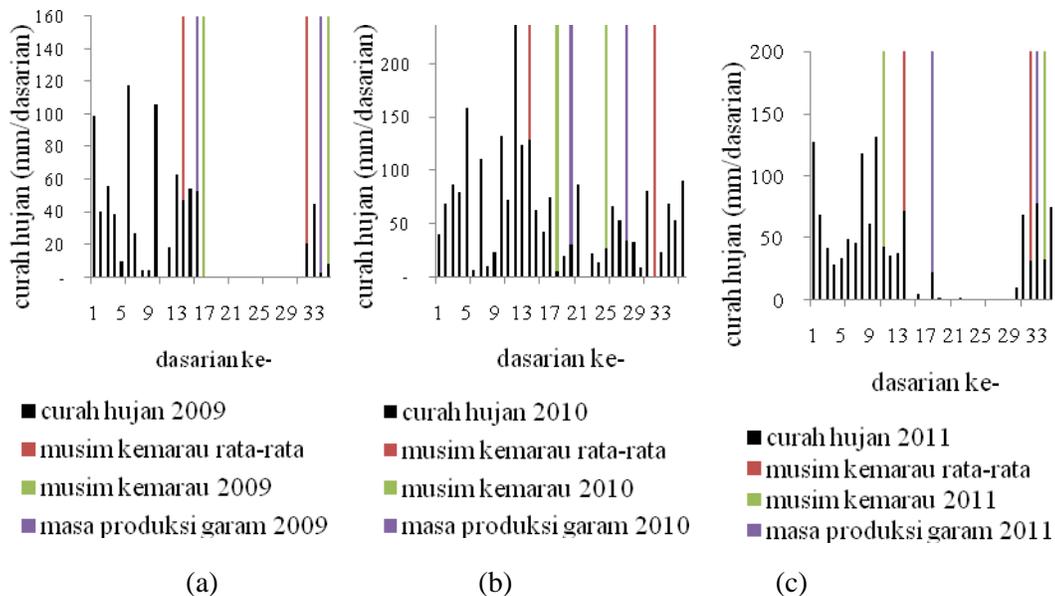
Gambar 2 Histogram slop persamaan regresi curah hujan terhadap perubahan salinitas



Gambar 3 Histogram R^2 persamaan regresi curah hujan terhadap perubahan salinitas

3.3 Pengaruh Iklim terhadap Produktivitas Garam Tahunan

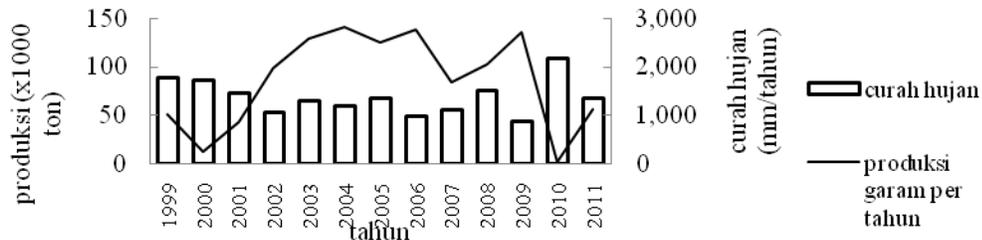
Pada tahun 2009, musim kemarau di Sumenep cukup panjang, yakni 190 hari. Sepanjang musim kemarau hanya terjadi tujuh hari hujan dengan jumlah 119 mm. Sebaliknya, pada tahun 2010 musim kemarau hanya berlangsung selama 8 dasarian dengan intensitas hujan yang sering di sela-sela musim tersebut. Sedangkan pada tahun 2011, musim kemarau berlangsung selama 15 dasarian. Namun demikian produksi garam pada tahun 2010 dan 2011 dimulai dan diakhiri pada waktu yang kurang tepat (Gambar 4).



Gambar 4 Curah hujan dasarian, kondisi musim kemarau, serta musim produksi garam tahun 2009 (a), tahun 2010 (b), tahun 2011 (c) Pegaraman I Sumenep

Produktivitas tahunan yang dihasilkan oleh Pegaraman I Sumenep rata-rata sebesar 85.6 ribu ton garam. Produksi total garam pada tahun 2009 mencapai 135.5 ribu ton (158%

produktivitas rata-rata). Sedangkan pada tahun 2010, produksi garam hanya 1.2 % dari produktivitas rata-rata (1016 ton). Produksi garam meningkat kembali pada tahun 2011 namun hanya mencapai 55.3 ribu ton (64.6% produktivitas rata-rata). Kondisi ini terjadi karena proses produksi garam sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim pada tahun-tahun tersebut.



Gambar 5 Pola curah hujan dan produksi garam tahunan Pegaraman I Sumenep

Kondisi iklim tahun 2009 sangat mendukung proses pembuatan garam. Pada tahun tersebut curah hujan sangat kecil saat musim produksi serta didukung oleh musim kemarau yang panjang. Dengan demikian proses produksi garam menjadi lancar karena salinitas air garam pada kolam-kolam peminihan dapat meningkat secara signifikan dengan didukung oleh evaporasi yang tinggi dan curah hujan yang rendah. Berbeda dengan tahun 2010, salinitas air garam tidak mampu meningkat secara signifikan karena hujan sering terjadi pada saat musim produksi. Musim kemarau pada saat itu sangat singkat. Sementara itu, tahun 2011 produksi garam meningkat kembali namun masih lebih rendah dari pada produktivitas rata-rata. Proses produksi garam pada tahun tersebut mengalami keterlambatan memulai dan mengakhiri jika dibandingkan dengan musim kemarau yang benar-benar terjadi (Gambar 4c).

Produktivitas garam akan menurun ketika besar curah hujan pada musim produksi besar (Gambar 5). Musim produksi garam rata-rata berlangsung pada bulan Juni sampai November. Koefisien determinasi yang dihasilkan sebesar 0.746 dari Persamaan regresi berikut (2):

$$\text{Produktivitas} = -397.3CH_{\text{Juni-Nov}} + 14620 \quad (2)$$

Hal ini menunjukkan bahwa curah hujan selama bulan Juni-November mampu merepresentasikan produktivitas garam tahunan sebesar 74.6%. Peningkatan curah hujan 10 mm curah hujan bulan Juni-November mampu menurunkan produktivitas garam sebesar 10.67 ribu ton.

Frekuensi kejadian hujan selama musim produksi juga sangat mempengaruhi produktivitas garam dengan koefisien determinasi sebesar 99% dari persamaan 3.

$$\text{Produktivitas} = -6935(\text{Frekuensi Hari Hujan}) + 17953 \quad (3)$$

3.4 Pengaruh ENSO terhadap Produktivitas Garam

Penyimpangan (anomali) musim kemarau dari kondisi rata-rata memiliki korelasi yang kuat dengan suhu muka laut (SML) yang berhubungan erat dengan variasi *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) di Samudra Pasifik. Curah hujan di Indonesia juga memiliki korelasi kuat dengan suhu muka laut pada bulan-bulan kering (Mei-Oktober) (Hendon 2003; Deser *et al.* 2010; Boer *et al* 2007). Ketika terjadi El Nino, umumnya awal musim hujan di wilayah bertipe iklim monsun mengalami keterlambatan antara satu sampai dua bulan, sebaliknya pada saat terjadi fenomena La Nina, awal musim kemarau mengalami keterlambatan (Webster dan Yang 1992). Namun demikian letak geografis akan menentukan respon aktivitas ENSO (Tjasyono 2003).

Musim kemarau Kabupaten Sumenep rata-rata terjadi pada bulan Mei-November. Sedangkan musim produksi rata-rata dilakukan pada bulan Juni-November. Curah hujan total bulan Juni-November dapat dijelaskan dengan baik (72.5%) oleh IOS Mei-November berdasarkan persamaan (4) berikut.

$$CH_{\text{musim produksi}} = 12.55IOS_{\text{Musim kemarau}} + 142.1 \quad (4)$$

Garam dengan konsentrasi yang telah tinggi sangat sensitif terhadap curah hujan. Oleh sebab itu, penghentian musim produksi garam tepat sebelum musim hujan perlu dilakukan untuk efisiensi produksi. Anomali awal musim hujan (AAMH) Pegaraman I Sumenep dapat dijelaskan oleh IOS September sebesar 63.2% berdasarkan persamaan (5) berikut.

$$\text{AAMH (hari)} = -2.614IOS_{\text{Sept}} + 10.72 \quad (5)$$

Semakin positif IOS (La-Nina), semakin negatif AAMH, akan mengakibatkan awal musim hujan lebih awal terjadi daripada AMH rata-rata (November pertengahan). Oleh sebab itu, fenomena ENSO sangat berpengaruh pada awal musim hujan.

Berdasarkan hubungan IOS dengan musim di Pegaraman I Sumenep cukup baik, maka IOS berpotensi mempengaruhi produktivitas garam total di Pegaraman I Sumenep. Hal ini terbukti dengan persamaan (7) yang mampu menjelaskan produktivitas garam dari nilai IOS rata-rata selama musim kemarau sebesar 54.8%.

$$\text{Produktivitas (ton/tahun)} = -5017.IOS_{\text{musim kemarau}} + 89738 \quad (6)$$

Dengan demikian, produktivitas garam Pegaraman I Sumenep PT. Garam (Persero) memiliki ketergantungan terhadap cuaca dan iklim pegaraman. Sedangkan cuaca dan iklim pegaraman dipengaruhi oleh variabilitas iklim berupa ENSO. Oleh sebab itu, produktivitas garam dapat dipengaruhi oleh ENSO.

3 Simpulan

Curah hujan memberikan dampak negatif pada kenaikan konsentrasi air garam. Pengaruh hujan menjadi semakin besar pada kolam peminihan yang semakin pekat. Peningkatan curah hujan dan frekuensi kejadian hujan selama musim produksi berpengaruh pada penurunan produktivitas garam tahunan.

Curah hujan selama musim produksi garam (Juni-November) dapat dijelaskan oleh Indeks Osilasi Selatan (IOS) selama musim kemarau rata-rata (Mei-November) sebesar 72.5%. Sedangkan anomali awal musim hujan Pegaraman I Sumenep juga dapat dijelaskan oleh IOS_{September}. Produktivitas garam tahunan dapat dijelaskan oleh IOS sebesar 54.8%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Boer R., Notodiputro K.A., Las I. 2007. Prediction of daily rainfall characteristics from monthly climate indices. *Jurnal. Agromet Indonesia* 21(1): 12-20.
- [2] Davis J.S. 2000. Structure, function, and management of biological system for seasonal solar saltworks. *Journal of Global Nest* 2(3): 217-226.
- [3] Deser C., Alexander M.A., Shang P.X., Phillips A.S. 2010. Sea surface temperature variability: patterns and mechanisms. *Annual Reviews Marine Science* 2: 115-143.
- [4] [DKP] Departemen Kelautan dan Perikanan. 2003. *Pemberdayaan Garam Rakyat*. Jakarta: Dirjen Peningkatan Kapasitas Kelembagaan dan Pemasaran.
- [5] Everingham Y.L., Muchow R.C., Stone R.C. Inman-Bamber N.G., Singels A., Bezuidenhout C.N. 2002. Enhanced risk management and decision-making capability across the sugarcane industry value chain based on seasonal climate forecasts. *Journal of Agricultural System* 74: 459-477.
- [6] Hendon H.H. 2003. Indonesian rainfall variability: impacts of enso and local air-sea interaction. *Journal of Climatology* 16: 1775-1790.
- [7] Hernanto B., Kwartatmono D.N. 2001. Teknologi pembuatan dan kendala produksi garam di Indonesia. *Prosiding Forum Pasar Garam Indonesia*.

- [8] Kirono D.G.C., Tapper N.J., McBride J.L. 1999. Documenting Indonesian rainfall in the 1997/1998 El Niño event. *Journal of Physical Geography* 20: 422-435.
- [9] Korovessis N.A., Lekkas T.D. 2006. Comparison of solar saltworks with saline coastal wetlands. *Proceedings of the 1st of the International Conference on the ecological importance of solar saltworks (CEISSA 06)*; Santorini Island, Greece, 20-22 October. halm 52-61.
- [10] Mottershead R., Davidson P. 2008. The Yannarie solar project: design of a solar saltfield in western Australia to safeguard the natural environment. *Journal of Global NEST* 11(1): 10-18.
- [11] Peel M.C., McMahon T.A. 2002. Variability of annual precipitation and its relationship to El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Climate* 15: 545-551.
- [12] Tjasyono B. 2003. Dampak ENSO pada faktor hujan di Indonesia. *Jurnal Matematika dan Sains* 8(1): 15-22.
- [13] _____. 2004. *Klimatologi*. Bandung: Penerbit ITB.
- [14] Webster P.J., Yang S. 1992. Monsoon and ENSO: selectively interactive system. *Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society* 118: 877-926
- [15] Wilks D.S. 2006. *Statistical Methods in The Atmospheric Sciences*. London: Elsevier Inc.
- [16] Zhiling J., Guangyu Y. 2009. The promotion of salt quality through optimizing brine concentration a new technique "bidirectional brine concentration". *Journal of Global NEST* 11(1):58-63.

Biologi

PENGARUH PANJANG HARI PENYINARAN TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PEMBUNGAAN ROSELA (*Hibiscus sabdariffa* Linn.)

Wirdhatul Muslihatin*, Ruspindi Daesusi

Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Muhammadiyah Surabaya*
Jln. Sautorejo no. 59 Surabaya 60113
w_muslih@yahoo.com, Telp. 0818585391

ABSTRAK

Rosela merupakan tanaman berkhasiat obat dan tergolong tanaman hari pendek yang dibudidayakan pada bulan atau waktu tertentu sehingga produksi dan penyediaan bahan baku produk rosela kurang optimal, maka perlu dilakukan manipulasi lingkungan untuk meningkatkan produktivitas atau hasil panen rosela. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh panjang hari penyinaran terhadap pertumbuhan dan pembungaan rosela. Perlakuan panjang hari dilakukan dengan menutup tanaman dengan menggunakan sungkup kain hitam. Perlakuan panjang hari yang diberikan adalah 8,9,10,11, dan 12 jam penyinaran. Parameter pertumbuhan yang diukur: tinggi tanaman, jumlah dan warna daun, dan diameter batang. Panen dilakukan setelah tanaman rosela menggugurkan mahkota bunganya atau kelopak bunga menguncup kembali dengan masa penanaman mencapai 3–4 bulan. Parameter pembungaan yang diukur: jumlah kelopak, berat basah dan berat kering kelopak rosela. Hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa perlakuan 10 jam menghasilkan tinggi tanaman tertinggi (128.20 cm), diameter batang besar (1.75 cm), jumlah daun banyak (178.60) dan warna daun yang hijau (3.00). Panjang hari penyinaran memberikan pengaruh terhadap pembungaan rosela. Panjang hari 10 jam menghasilkan jumlah kelopak terbanyak (79,00), berat basah terbesar (218.00 gr) dan berat kering yang besar (17.60 gr). Kesimpulan dari penelitian ini adalah panjang hari memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan dan pembungaan rosela, panjang hari 10 jam memberikan hasil pertumbuhan dan pembungaan terbaik.

Kata kunci: rosela, panjang hari penyinaran, pertumbuhan, pembungaan

1 PENDAHULUAN

Rosela berkelopak bunga merah (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) merupakan tanaman hias yang berkhasiat obat. Pemanfaatan tanaman rosela dikarenakan kandungan senyawa yang bermanfaat untuk kesehatan. Senyawa kimia yang bermanfaat dalam rosela diantaranya adalah protein, karbohidrat, serat, kalsium, fosfor, besi, beta-karoten, tiamin, riboflavin, niasin, asam askorbat dan lainnya [1]. Pemanfaatan rosela sangat luas baik bagian daun, bunga, kelopak dan biji. Bagian bunga yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku minuman kesehatan adalah kelopak bunga. Kelopak bunga rosela dapat dimanfaatkan dan diolah menjadi sirup, jelly, teh, kombucha, cuka dan lain sebagainya.

Rosela merupakan tanaman hari pendek yang dibudidayakan pada bulan atau waktu tertentu sehingga produksi dan penyediaan bahan baku produk rosela kurang optimal. Peningkatan jumlah bunga dan kelopak rosela dapat dilakukan dengan menginduksi pembungaan. Pembungaan merupakan proses morfogenesis tanaman yang sangat bergantung pada pencahayaan [2]. Pembungaan dapat dipicu dengan temperatur, panjang hari, senyawa kimia, dan status hara. Pembungaan pada sebagian tanaman dapat dilakukan dengan perlakuan penerapan masa penyinaran yang lebih singkat maupun lebih panjang dibandingkan dengan penyinaran matahari alami [3]. Selain itu, faktor cahaya juga mempengaruhi sintesis dan kandungan antosianin, klorofil dan senyawa metabolit lain khususnya flavonoid [4]. Manipulasi pencahayaan dan panjang hari pada tanaman yang telah dilakukan oleh banyak peneliti dengan tujuan meningkatkan pertumbuhan, perkembangan tanaman serta menginduksi pembungaan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh panjang hari penyinaran terhadap pertumbuhan dan pembungaan rosela.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Maret–Juli 2012 di Kebun Biologi dan Laboratorium Hayati Universitas Muhammadiyah Surabaya.

2.2 Bibit dan perlakuan

Bibit tanaman rosela didapatkan dari Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (Balitas) Karangploso Malang. Bibit ditanam langsung pada lubang di setiap bedengan yang berukuran 40 x 70 cm, jarak antar bedengan 25 cm dan tinggi bedengan 30 cm. Perlakuan panjang hari dilakukan dengan teknik manipulasi lingkungan yaitu penutupan tanaman dengan menggunakan sungkup kain hitam. Perlakuan panjang hari yang diberikan adalah 8, 9, 10, 11, dan 12 jam penyinaran. Waktu penyinaran adalah sebagai berikut, 8 jam penyinaran: 05.30–13.30 WIB selebihnya ditutup sungkup; 9 jam: 05.30–14.30 WIB selebihnya ditutup sungkup, 10 jam: 05.30–15.30 WIB selebihnya ditutup sungkup, 11 jam: 05.30–16.30 WIB selebihnya ditutup sungkup dan 12 jam: tanpa ditutup sungkup (kelambu gelap).

2.3 Pengukuran parameter pertumbuhan dan pembungaan yang diamati

Parameter pertumbuhan diukur setiap seminggu sekali meliputi: tinggi tanaman, jumlah daun, warna daun, dan diameter batang utama. Kegiatan ini dilakukan sampai masa panen.

2.4 Panen dan pengukuran parameter pembungaan

Panen dilakukan setelah tanaman rosela menggugurkan mahkota bunganya atau kelopak bunga menguncup kembali dengan masa penanaman mencapai 3–4 bulan. Panen dilakukan dengan cara memetik kelopak bunga rosela menggunakan *cutter* atau gunting kemudian membuang bagian biji dengan menggunakan pipa. Parameter pembungaan yang diukur antara lain jumlah, berat basah dan berat kering kelopak bunga rosela.

2.5 Rancangan penelitian dan analisis statistik.

Rancangan percobaan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK). Perlakuan diulang sebanyak 5 kali. Data hasil penelitian dianalisis dengan menggunakan *Analysis of Varians* (ANOVA) dengan taraf kepercayaan 95%. Jika terjadi beda nyata maka dilanjutkan dengan uji Duncan dengan taraf kepercayaan 95%.

3 HASIL PENELITIAN

3.1 Pertumbuhan rosela

Tinggi tanaman. Tanaman tertinggi dihasilkan pada perlakuan 10 jam penyinaran (128.20 cm) dan terendah pada 12 jam penyinaran (81.00 cm). Berdasarkan uji anova ($P=0.05$), panjang hari penyinaran 8, 9, 10, dan 11 jam tidak menyebabkan perbedaan yang signifikan pada tinggi tanaman rosela. Namun, panjang hari 12 jam menyebabkan perbedaan yang signifikan dibandingkan perlakuan lainnya (Tabel 1).

Diameter batang. Perlakuan panjang hari menyebabkan perbedaan yang signifikan pada diameter batang. Diameter batang terbesar dihasilkan pada perlakuan 8 jam penyinaran (1.79 cm) dan terkecil dihasilkan pada perlakuan 12 jam penyinaran (1.27 cm). Namun perlu diperhatikan bahwa perlakuan 10 jam penyinaran (1.75 cm) menghasilkan diameter batang yang mendekati 8 jam penyinaran dan berdasarkan uji Duncan ($P=0.05$) membuktikan bahwa 10 jam penyinaran memberikan pengaruh yang sama dibandingkan dengan 8 jam penyinaran (Tabel 1).

Jumlah daun. Panjang hari penyinaran 8 jam (183.40), 9 jam (178.40), dan 10 jam (178.60) tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan pada jumlah daun, namun berbeda signifikan dibandingkan dengan perlakuan 11 dan 12 jam penyinaran. Jumlah daun terbanyak dan tersedikit dihasilkan pada perlakuan 8 jam (183.40) dan 12 jam (114.40) (Tabel 1).

Warna daun. Panjang hari penyinaran menghasilkan perbedaan yang signifikan pada warna daun di setiap perlakuan. Perlakuan 10 dan 11 jam menghasilkan warna daun yang sama (3.00). Warna daun paling hijau tua (4.00) dan hijau muda (2.00) dihasilkan pada perlakuan 8 dan 12 jam (Tabel 1).

Tabel 1 Pengaruh panjang hari penyinaran terhadap pertumbuhan tanaman rosela

Perlakuan panjang hari (jam)	Parameter pertumbuhan			
	Tinggi (cm)	Diameter batang (cm)	Jumlah daun	Warna daun
8	119.40 a	1.79 a	183.40 a	2.00 d
9	107.80 a	1.56 c	178.40 a	2.60 c
10	128.20 a	1.75 ab	178.60 a	3.00 b
11	115.80 a	1.59 bc	149.60 ab	3.00 b
12	81.00 b	1.27 d	114.40 b	4.00 a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang berbeda, menunjukkan perbedaan signifikan berdasarkan uji Duncan ($p=0.05$).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan panjang hari 10 jam memberikan hasil pertumbuhan yang terbaik secara umum walaupun untuk parameter warna daun tidak memberikan pengaruh yang tertinggi.

3.2 Pembungaan rosela

Jumlah kelopak. Variabel jumlah kelopak bunga adalah suatu hal yang sangat penting. Berdasarkan uji Duncan ($p 0,05$) panjang hari penyinaran berpengaruh secara signifikan pada kelopak bunga rosela. Panjang hari penyinaran 10 dan 12 jam berbeda secara signifikan terhadap jumlah kelopak rosela. Namun, panjang hari 8, 9, dan 11 jam tidak menghasilkan jumlah kelopak yang berbeda secara signifikan. Jumlah kelopak terbanyak (79) dan tersedikit (20) dihasil pada perlakuan 10 jam dan 12 jam (Tabel 2).

Berat basah kelopak rosela. Panjang hari penyinaran berpengaruh secara signifikan terhadap berat basah kelopak rosela. Berat basah kelopak rosela terbesar dihasilkan pada 10 jam penyinaran(218.00 gr), sedangkan berat kelopak terkecil dihasilkan pada 12 jam penyinaran (60.00 gr) (Tabel 2).

Berat kering kelopak rosela. Panjang hari penyinaran berpengaruh secara signifikan terhadap berat kering kelopak rosela. Panjang hari 8, 10 dan 11 memberikan pengaruh yang sama namun berbeda secara signifikan pada perlakuan 9 dan 12 jam. Berat kering kelopak tertinggi dihasilkan pada 11 jam penyinaran (15.76 gr) tetapi tidak berbeda nyata secara signifikan dengan 10 jam penyinaran (15.60 gr) dan 8 jam (14.49). Berat kering kelopak terkecil dihasilkan pada 12 jam penyinaran (Tabel 2). Dari penelitian yang telah dilakukan membuktikan bahwa panjang hari penyinaran selama 10 jam memberikan pembungaan yang terbaik pada parameter jumlah bunga, berat basah dan kering kelopak.

Tabel 2. Pengaruh panjang hari penyinaran terhadap pembungaan rosela

Perlakuan panjang hari (jam)	Parameter pembungaan		
	Jumlah bunga	Berat basah kelopak (g)	Berat kering kelopak (g)
8	55.20 b	130.00 b	14.49 a
9	55.20 b	186.00 ab	13.15 ab
10	79.00 a	218.00 a	15.60 a
11	62.20 b	152.00 bc	15.76 a
12	20.00 c	60.00 d	6.31 b

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang berbeda, menunjukkan perbedaan signifikan berdasarkan uji Duncan ($p=0.05$).

4 PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh panjang hari penyinaran terhadap pertumbuhan rosela

Cahaya merupakan faktor penting bagi pertumbuhan tanaman, tidak hanya menyebabkan fotosintesis tetapi juga berpengaruh terhadap morfologi tanaman. Tinggi tanaman merupakan ukuran tanaman yang sering diamati, baik sebagai indikator pertumbuhan maupun sebagai parameter yang digunakan untuk mengukur pengaruh lingkungan atau perlakuan yang diterapkan. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa tinggi tanaman merupakan ukuran pertumbuhan yang paling mudah dilihat [5]. Penyinaran 10 jam menghasilkan tinggi tanaman tertinggi. Hal ini terjadi karena tanaman rosela termasuk tanaman hari pendek dimana respon terhadap cahaya lebih kecil. Fotoperiode tidak hanya mempengaruhi pembungaan tetapi juga tinggi tanaman. Tumbuhan memerlukan intensitas cahaya tertentu yang berbeda antar spesies untuk tumbuh dengan baik. Tumbuhan hari pendek tumbuh secara optimal pada intensitas cahaya lebih rendah dan tumbuh kerdil jika terkena cahaya langsung terus-menerus. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian bahwa tanaman rosela yang ditanam dengan panjang hari 12 jam penuh atau tanpa penutupan dan terpapar matahari terus-menerus menghasilkan tanaman paling pendek.

Diameter merupakan parameter pertumbuhan lateral tumbuhan yang menandakan pertambahan ukuran. Dari hasil penelitian ini menghasilkan bahwa panjang hari penyinaran berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman rosela. Tanaman yang tumbuh dalam gelap atau cahaya yang lemah akan mempunyai batang yang panjang dengan ruas yang lebih panjang dan lebih besar dari tumbuhan yang mendapat cahaya terang, hal ini dikarenakan berkurangnya efektivitas auxin pada keadaan cahaya yang terang.

Pertumbuhan tanaman saat terpapar cahaya berhubungan dengan hormon auksin. Peningkatan kadar auksin terjadi pada intensitas cahaya rendah. Auksin berperan

merangsang pompa proton yang mengakibatkan penurunan pH dinding sel sehingga mengaktifkan enzim-enzim untuk memecah ikatan silang yang terdapat dalam mikrofibril selulosa. Proses tersebut melonggarkan serat-serat dinding sel. Sel akan bersifat plastis dan bebas mengambil air secara osmosis sehingga bertambah panjang. Selain merangsang perpanjangan sel untuk pertumbuhan primer, auksin mempengaruhi pertumbuhan sekunder dengan cara menginduksi pembelahan sel pada jaringan pembuluh dan mempengaruhi diferensiasi xylem [6].

Daun diperlukan untuk penyerapan dan pengubah energi cahaya dalam proses fotosintesis yang akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan, melalui fotosintesis. Semakin banyak jumlah daun dalam satu tanaman akan meningkatkan laju fotosintesis pada tanaman tersebut [7]. Semakin lama penyinaran menyebabkan jumlah daun semakin sedikit. Temperatur, cahaya, dan faktor-faktor lain terbukti mempengaruhi pemunculan daun.

Cahaya merupakan faktor penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Tidak semua tumbuhan membutuhkan cahaya yang tinggi. Pada intensitas cahaya rendah terjadi penimbunan fotosintat di batang. Penimbunan fotosintat pada batang dapat meningkatkan tinggi, diameter sekaligus bobot basah tumbuhan [8] [6].

Pada kondisi intensitas cahaya yang tinggi, tumbuhan cenderung meningkatkan aktivitas fotosintesis sampai tingkat kejenuhan cahaya tertentu. Setiap jenis tumbuhan memiliki kondisi jenuh cahaya yang berbeda dimana peningkatan intensitas cahaya tidak lagi meningkatkan fotosintesis. Hal tersebut menjelaskan hasil penelitian ini dimana pada panjang hari penyinaran 10 jam menghasilkan pertumbuhan yang cenderung lebih baik berdasarkan parameter tinggi tanaman, diameter utama, dan jumlah daun. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diasumsikan bahwa pada perlakuan panjang hari penyinaran 12 jam telah melebihi keadaan jenuh cahaya bagi tanaman rosela sehingga tidak dapat lagi meningkatkan fotosintesis.

4.2 Pengaruh panjang hari penyinaran terhadap pembungaan rosela

Pembungaaan tanaman merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pertumbuhan tanaman. Peralihan dari fase vegetatif ke generatif sebagian ditentukan oleh genotif serta faktor luar seperti suhu, air, pupuk dan cahaya. Cahaya sangat berguna untuk memperlancar proses fotosintesis, sehingga dapat memacu akumulasi hasil fotosintesis [9]. Menurut Goldsworthy dan Fisher [10] pada fase generatif, pertumbuhan vegetatif sudah mulai berkurang bahkan berhenti dan berubah menjadi penyediaan unsur hara yang

cukup untuk fase pembungaan. Jika bunga terbentuk lebih awal maka kemungkinan bunga yang terbentuk lebih banyak.

Berat segar merupakan berat bagian hidup tanaman. yang paling sering digunakan untuk menggambarkan dan mempelajari pertumbuhan tanaman. Berat segar meliputi semua bagian tanaman yang secara kasar berasal dari hasil fotosintesis, serapan unsur hara dan air [5]. Koesningrum dan Harjadi [11], menyatakan bahwa karbohidrat yang dihasilkan oleh daun sebagai hasil proses fotosintesis dapat menstimulir pembentukan organ-organ baru. Hasil fotosintesis yang lebih rendah akan menyebabkan berat segar menjadi lebih rendah. Kondisi lingkungan yang menguntungkan akan memacu hasil fotosintesis dan asimilat yang diperlukan dalam pembentukan bunga. Bila fotosintat yang dihasilkan tinggi maka berat segar kelopak bunga juga semakin tinggi. Menurut Darjanto dan Satifah [9] tanaman hanya dapat menghasilkan bunga bilamana telah dewasa, cukup besar dan banyak mengandung zat-zat cadangan makanan terutama karbohidrat sebagai bahan utama pembentukan bunga.

Berat kering mencerminkan penyerapan nutrisi tanaman. Ukuran berat kering tergantung juga pada laju fotosintesis. Kegiatan fotosintesis yang besar menghasilkan berat kering yang besar pula [12]. Setyati [13] menyatakan bahwa peningkatan hasil fotosintesis merupakan penampilan ukuran dari berat kering yang mencerminkan bertambahnya protoplasma karena baik ukuran sel maupun jumlah sel akan bertambah. Biomassa tanaman meliputi semua bahan tanaman yang secara kasar berasal dari hasil fotosintesis, serapan unsur hara dan air yang diolah melalui proses biosintesis [9].

Cahaya dapat memacu proses fotosintesis dan menghasilkan energi yang dibutuhkan dalam proses pembentukan bunga. Menurut Harjadi [14] metabolisme cadangan makanan yang berupa karbohidrat akan menghasilkan energi yang selanjutnya mendorong pembelahan sel dan membentuk sel baru sebagai awal pembentukan bunga pada fase generatif. Biomassa tanaman berkaitan dengan proses fotosintesis dimana laju fotosintesis yang tinggi mampu menghasilkan biomassa tanaman yang besar [4]. Dwijosepoetro [15] menyebutkan bahwa berat kering tanaman sangat dipengaruhi oleh optimalnya proses fotosintesis. Berat kering yang terbentuk mencerminkan banyaknya fotosintat sebagai hasil fotosintesis, karena bahan kering sangat tergantung pada laju fotosintesis tersebut.

5 KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah panjang hari penyinaran berpengaruh terhadap pertumbuhan dan pembungaan rosela. Panjang hari penyinaran 10 jam

menghasilkan pertumbuhan dan pembungaan lebih baik daripada panjang hari penyinaran lainnya.

6 UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan dalam Rangka Pelaksanaan Hibah Program Penelitian Multi Tahun dan Desentralisasi Tahun Anggaran 2012 Nomor: 0020/SP2H/PP/K7/KL/II/2012 Tanggal 9 Februari 2012.

PUSTAKA

- [1] Qi Y, Chin KL, Malekian F, Berhane M, dan Gager J. 2005. Biological characteristics, nutritioal and medicinal. *CIRCULAR – Urban Forestry Natural Resources and environment* 604.
- [2] Heo JW, Lee CW, Murthy HN, dan Paek KY. 2003. Influence of light quality and photoperiod on flowering of *Cyclamen persicum* Mill. cv. Dixie White. *Plant Growth Regulation* 40: 7–10.
- [3] Hendrawati RL. 2008. Pembungaan *Eucalyptus occidentalis* pada perpanjangan masa penyinaran dan paclobutrazol. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan* Vol 2 (3): 1-9.
- [4] Salisbury FB, Cleon WR.1990. Fisiologi Tumbuhan. Ed ke-4. Lukman DR, Sumaryono, penerjemah. Bandung: Penerbit ITB. Terjemahan dari : *Plant Physiology*
- [5] Sitompul SM, Guritno B. 1995. Analisis Pertumbuhan Tanaman. UGM Press. Yogyakarta.
- [6] Muslihatin W. 2009. Pertumbuhan dan Keragaan Planlet Sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) pada Medium dengan Berbagai Sumber Karbohidrat dan Intensitas Cahaya yang Berbeda. Departemen Biologi Mayor Biologi Tumbuhan Fakultas Pascasarjana Institut Pertanian Bogor
- [7] Gardner FP, Pearce RB, Mitcell RL. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya (Pnjmh: Susilo, H.). UI Press. Jakarta
- [8] Sumaryono, Muslihatin W, Ratnadewi D. 2012. Effect of Carbohydrate Source on Growth and Performance of In Vitro Sago Palm (*Metroxylon sagu* Rottb.) Plantlets. *HAYATI Journal of Biosciences* Vol. 19 No. 2, p 88-92
- [9] Darjanto, Safiah. 1990. Pengetahuan Dasar Biologi Bunga dan Teknik Silang Buatan. Gramedia. Jakarta
- [10] Goldsworthy PR, Fisher NM. 1996. Fisiologi Tanaman Budidaya ropik(Pnjmh: Tohari). UGM Press. Yogyakarta

- [11] Koesningrum R, Harjadi S. 1978. Pembiakan Vegetatif. IPB Press. Bogor
- [12] Prawiranata WS, Hairan S, Tjondronegoro P. 1989. Dasar-Dasar Fisiologi Tanaman Jilid II. Gamedia Pustaka Utama. Jakarta
- [13] Harjadi SS. 1991. Pengantar Agronomi. Gamedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [14] Dwijosepoetro D. 1981. Pengantar Fisiologi Tumbuhan. Gamedia PustakaUtama. Jakarta.

UPAYA PENINGKATAN KEBERHASILAN PENYETEKAN SIRIH MERAH MELALUI PENGGUNAAN ZAT PENGATUR TUMBUH DAN JUMLAH BUKU PADA DUA JENIS MEDIA TANAM

Rugayah^{1*}, Sugiarno¹

Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung¹
rugayahbw@yahoo.com

ABSTRAK

Sirih Merah (*Piper crocatum* Ruiz and Puv.) merupakan salah satu jenis tanaman hias yang berkhasiat sebagai obat, namun belum memasyarakat karena dirasa teknik perbanyakannya sulit. Salah satu teknik perbanyakannya yang paling praktis adalah dengan penyetekan yang dapat diupayakan peningkatan keberhasilannya dengan cara penggunaan zat pengatur tumbuh perangsang akar dan jumlah buku tertentu pada media tanam yang tepat. Penelitian yang dilakukan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Lampung ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi IBA (Indol Butyric Acid) dan jumlah buku terhadap keberhasilan penyetakan sirih merah pada dua jenis media tanam. Percobaan ini merupakan percobaan faktorial (4x2) dalam rancangan acak kelompok lengkap dengan tiga ulangan. Faktor pertama konsentrasi IBA: 0, 500, 1000, 2000 ppm dan faktor kedua jumlah buku: satu dan dua buku yang masing-masing faktorialnya dicobakan pada media campuran pasir kali dan sekam bakar 1-1 (subpenelitian 1) dan media campuran pasir vulkanik dan sekam bakar 1-1 (subpenelitian 2). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada media pasir kali, persentase tumbuh setek satu buku dengan IBA 1000 ppm hasilnya paling tinggi (83.85%) dibandingkan dua buku (61.92%) dan kombinasi perlakuan lainnya serta memiliki jumlah daun yang lebih banyak (9.33 helai). Rata-rata panjang sulurpun lebih tinggi dibandingkan setek dua buku. Namun pada media pasir vulkanik dengan perlakuan yang sama nilainya lebih tinggi: persentase tumbuh setek 93.33% dan jumlah daun 12.64 helai.

Katakunci: Sirih Merah, Penyetekan, Konsentrasi IBA, Jumlah Buku, Media Tanam

1. PENDAHULUAN

Sirih merah dengan nama spesies *Piper crocatum* Ruiz and Pav. [1] merupakan salah satu jenis tanaman hias daun yang sekaligus berfungsi sebagai tanaman obat. Keindahan sirih merah sebagai tanaman hias daun terletak pada corak dan warna permukaan daun yaitu pada permukaan atas berwarna hijau tua 'lido' dengan corak pink perak mengikuti urat daun dan permukaan bawah berwarna merah marun mengkilap. Kepekatan warna merah marun pada permukaan daun bagian bawah diduga menunjukkan tingginya kadar bahan kimia yang berkhasiat sebagai obat [2]. Sebagai tanaman obat, pada daun sirih merah banyak mengandung senyawa alkaloid, saponin, tannin, dan flavonoid. Alkaloid dan flavonoid memiliki aktifitas hipoglikemik atau penurunan kadar glukosa darah. Senyawa tanin dan saponin digunakan sebagai anti mikroba (bakteri dan virus) (Hara, 1993 yang dikutip oleh Solikhah [2]. Berbagai jenis penyakit yang dapat disembuhkan dengan mengkonsumsi daun sirih merah, di antaranya diabetes melitus, kanker payudara, maag akut, batu ginjal, ambeien, serangan jantung, stroke [3; 4; 5].

Walaupun telah terbukti banyak manfaatnya, namun pembudidayaan sirih merah belum memasyarakat. Salah satu kendala pengembangan sirih merah di kalangan masyarakat secara umum adalah cara perbanyak sirih merah dirasa cukup sulit. Karena itulah perlu diupayakan teknik perbanyak sirih merah yang paling praktis sehingga nantinya dapat diterapkan di masyarakat secara luas. Tanaman sirih merah secara umum diperbanyak secara vegetative, melalui penyetek, pencangkakan, dan perundukan. Di antara cara tersebut, penyetekan merupakan cara yang paling praktis dan efisien. Keuntungan lain dari perbanyak dengan setek adalah tanaman yang dihasilkan mempunyai keseragaman umur, ukuran tanaman, dan sifat yang sama dengan induknya, menghasilkan tanaman dalam jumlah banyak, dan tidak memerlukan teknik yang rumit, sehingga dapat dilakukan oleh siapa saja [6].

Sebenarnya perbanyak sirih merah yang paling praktis dengan cara penyetekan, namun sebagian masyarakat mencoba menyetek sirih merah keberhasilannya sangat rendah, hanya 30%. Hal ini disebabkan keterbatasan pengetahuan dalam menyetek sirih merah. Salah satu teknik menyetek sirih merah untuk mendapatkan keberhasilan yang tinggi adalah penggunaan zat pengatur tumbuh pemacu pertumbuhan akar dengan jumlah buku dan media tanam yang tepat.

Selama ini penyetekan sirih merah dengan menggunakan pengatur pertumbuhan akar dari golongan auksin, seperti IBA (*indol butiric acid*) belum banyak dicoba. Menurut Hartman et al. [7] dan Davis et al. [8], pemberian auksin dapat meningkatkan jumlah dan kualitas akar yang terbentuk. Pengatur pertumbuhan IBA dalam praktek banyak digunakan untuk merangsang perakaran karena memiliki sifat lebih stabil dan daya kerjanya lebih lama jika dibandingkan dengan IAA, sehingga dapat mempercepat timbulnya akar pada permukaan dasar setek [9]. Karena itu perlu dicoba pemberian pengatur tumbuh sintetik dalam usaha peningkatan keberhasilan penyetekan agar didapat bibit tanaman sirih merah dalam jumlah banyak.

Keberhasilan penyetekan ditunjukkan oleh terbentuknya akar yang diikuti oleh pertumbuhan tunas yang normal. Menurut Sudewo [3], keberhasilan penyetekan sirih merah berkisar 40 – 70%, tergantung bahan tanam yang digunakan; apabila terlalu muda maka keberhasilannya sangat rendah. Hasil penelitian Murti [10], penggunaan bahan setek umur 5 bulan dengan dua buku yang diberi Rootone-F ditanam pada media campuran pasir kali dan sekam bakar (1:1 volum) keberhasilannya bisa mencapai 70%. Nampaknya dengan penanaman pada pasir vulkanik akan meningkatkan keberhasilan dan kualitas akar karena pasir vulkanik secara fisik mempunyai struktur yang lebih berongga sehingga memberikan porositas tinggi dan bobot jenisnya tinggi. Kondisi ini mampu

menopang setek dengan kuat dan daya menyerap airnya tinggi sehingga kelembaban media lebih stabil dibandingkan pasir kali. Hasil percobaan pendahuluan menunjukkan bahwa penggunaan media pasir vulkanik lebih meningkatkan perkembangan sistem perakaran dan persentase setek tumbuh mencapai 80%. Oleh karena itu pada penelitian ini dicoba membandingkan antara media pasir kali dan pasir vulkanik yang masing-masing dicampur dengan sekam bakar. Diharapkan ditemukannya konsentrasi IBA, jumlah buku, dan media tanam yang tepat pada penyetekan sirih merah akan diperoleh teknik perbanyak sirih merah yang praktis dan efisien

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan teknik penyetekan sirih merah yang praktis dan efisien serta dapat diterapkan di masyarakat melalui penggunaan zat pengatur tumbuh IBA dengan jumlah buku tertentu dan media tanama yang cocok. Keberhasilan teknik ini akan ditunjukkan oleh meningkatnya persentase setek hidup dengan kriteria pertumbuhan setek yang baik yang dilihat dari panjang sulur, jumlah daun, dan panjang ruas.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari 2 subpenelitian yang dilakukan di rumah kaca Hortikultura, Fakultas Pertanian Unila, Bandar Lampung pada Juli - November 2008. Perlakuan yang diterapkan pada dua percobaan ini adalah faktorial (4x2) yang disusun dalam rancangan acak kelompok lengkap dengan tiga ulangan dan setiap satuan percobaan terdiri dari 10 setek tanaman sirih merah.

Perlakuan pada subpenelitian I dan II adalah sama yaitu faktor pertama konsentrasi IBA: 0, 500, 1000, dan 2000 ppm dan faktor kedua adalah jumlah buku: satu dan dua buku. Masing-masing setek ditanam pada media campuran pasir kali dan sekam bakar (1:1 volume) pada sub penelitian I dan campuran pasir vulkanik dan sekam bakar pada subpenelitian II.

Bahan tanam yang digunakan berupa setek sirih merah satu buku dan dua buku yang masing-masing bagian potongan setek bawah hingga buku diolesi dengan pasta IBA dengan konsentrasi sesuai perlakuan, lalu ditanam pada media berupa campuran pasir kali (subpenelitian I) atau pasir vulkanik (sub penelitian II) dan sekam bakar dengan perbandingan volume 1:1. Pada umur 2 bulan setelah semai dilakukan pengamatan pertumbuhan akar dan tunas; pada umur 3 bulan setelah pindah tanam dilakukan pengamatan pertumbuhan tunas dan kualitas akar dengan cara visualisasi. Sebelum dilakukan penanaman, media disiram dengan larutan fungisida dengan bahan aktif

mancozeb 2 g/liter dan selama 2 hari sejak tanam tidak dilakukan penyiraman. Untuk menjaga kelembaban lingkungan setek hanya dilakukan pengkabutan daun setiap hari.

Variabel yang diamati meliputi: waktu muncul tunas, waktu membuka daun, jumlah akar primer, panjang akar terpanjang, persentase setek tumbuh, , jumlah daun, panjang ruas, dan panjang sulur. Data yang diperoleh dianalisis dengan analisis ragam dan dilanjutkan pemisahan nilai tengah dengan beda nyata terkecil (BNT). Semua pengujian dilakukan pada taraf nyata 5%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi IBA dan perbedaan jumlah buku pada penyetekan sirih merah dengan menggunakan dua jenis media tanam berpengaruh nyata pada waktu muncul tunas, persentase setek tumbuh, jumlah akar primer, dan panjang ruas pertama. Pengaruh kedua perlakuan pada kedua media tanam tidak menunjukkan adanya interaksi, kecuali pada persentase setek bertunas (Tabel 1).

Tabel 1. Rekapitulasi hasil analisis ragam pengaruh konsentrasi IBA dan jumlah buku terhadap keberhasilan penyetekan sirih merah pada dua jenis media tanam

Variabel Pengamatan	Pasir Kali			Pasir Vulkanik		
	IBA	J. Buku	Interaksi	IBA	J. Buku	Interaksi
Waktu muncul tunas	ns	ns	ns	*	ns	ns
Persentase setek tumbuh	ns	ns	*	ns	*	ns
Jumlah akar primer	ns	*	ns	ns	*	ns
Panjang akar terpanjang	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Jumlah daun	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Panjang ruas pertama	ns	*	ns	ns	*	ns
Panjang sulur	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Keterangan: ns = non signifikan

* = berbeda pada taraf nyata 0.05%

3.1 Penyetekan pada Media Campuran Pasir Kali

Penanaman setek pada campuran media pasir kali dan sekam bakar menunjukkan hasil bahwa perlakuan setek satu buku dan pemberian IBA 1000 ppm, menghasilkan persentase setek bertunas yang paling tinggi (83.85%) dan pada setek dua buku nilainya 61.92%. Keberhasilan penyetekan paling rendah dijumpai pada perlakuan konsentrasi IBA 2000 ppm, baik setek satu buku maupun dua buku, yaitu 59.22% dan 57.78% (Tabel 2). Nampaknya pemberian IBA 2000 ppm pada penyetekan sirih merah tergolong cukup tinggi sehingga justru menurunkan keberhasilan penyetekan. Konsentrasi yang masih ideal kisaran 500 – 1000 ppm dengan menggunakan setek satu buku.

Tabel 2. Hasil pemisahan nilai tengah untuk pengaruh konsentrasi IBA dan jumlah buku pada persentase setek tumbuh (%).

Perlakuan Konsentrasi IBA	Jumlah Buku	
	Satu	Dua
0	70.08 ab	60.00 b
500	70.78 ab	64.63 ab
1000	83.85 a	61.92 ab
2000	59.22 b	57.78 b
BNT 0.05	22.93	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak menunjukkan perbedaan berdasarkan uji BNT pada taraf 5%.

Pengaruh faktor tunggal hanya nampak pada perlakuan jumlah buku. Setek dengan jumlah buku satu memiliki panjang ruas pertama (6.08 cm) lebih panjang dibandingkan dengan setek buku dua, yaitu 4.81 cm (Tabel 3). Namun setek dengan jumlah buku satu mempunyai jumlah akar primer yang lebih sedikit yaitu 4.60 helai dibandingkan setek berbuku dua yang memiliki akar primer 5.58 helai (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil pemisahan nilai tengah untuk pengaruh jumlah buku pada panjang ruas pertama dan jumlah akar primer setek tanaman sirih merah.

Jumlah Buku	Panjang ruas pertama (cm)	Jumlah akar primer (helai)
Satu buku	6.08 a	4.60 b
Dua buku	4.81 b	5.58 a
BNT 0.05	0.96	0.43

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak menunjukkan perbedaan berdasarkan uji BNT pada taraf 5%.

Walaupun perlakuan setek satu buku memiliki jumlah akar primer yang lebih sedikit, namun untuk pertumbuhan selanjutnya tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, bahkan pada jumlah daun dan panjang sulur yang dihasilkan setek satu buku cenderung lebih tinggi sehingga penggunaan bahan setek lebih efisien.

Pengamatan pada variabel waktu muncul tunas, jumlah daun, panjang sulur, dan panjang akar terpanjang tidak menunjukkan perbedaan pada semua perlakuan yang dicobakan. Walaupun demikian, secara agronomis setek dengan jumlah buku satu yang diberi IBA 1000 ppm, memiliki jumlah daun dan panjang sulur yang nilainya paling tinggi dibandingkan perlakuan yang lain, yaitu masing-masing 9.33 helai dan 57.17 cm.

3.2 Penyetekan pada Media Campuran Pasir Vulkanik

Hasil pengamatan pada penanaman setek dengan media campuran pasir vulkanik dan arang sekam menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi IBA hanya berpengaruh pada waktu muncul tunas dan perlakuan jumlah buku berpengaruh pada persentase setek

tumbuh, jumlah akar primer, dan panjang ruas pertama. Tidak ada pengaruh interaksi pada semua perlakuan yang dicobakan. Waktu muncul tunas tercepat dicapai pada konsentrasi IBA 500 ppm, yaitu 41.35 hari dan paling lama pada konsentrasi IBA 2000 ppm, yaitu 47.63 hari (Tabel 4).

Persentase setek tumbuh paling tinggi dicapai pada perlakuan jumlah buku satu dengan konsentrasi IBA 1000 ppm (93.33%), namun tidak berbeda dengan jumlah buku dua pada konsentrasi yang sama (90.33%) atau jumlah buku satu pada konsentrasi 2000 ppm (90%) (Tabel 5). Perbedaan persentase setek tumbuh pada buku satu yaitu (88.33%) dengan jumlah buku dua yaitu (75.00%) adalah sebesar 17.77% dan memiliki panjang ruas pertama (6.11 cm) yang lebih tinggi dibandingkan pada setek berbuku dua (5.05 cm). Namun pada setek berbuku dua memiliki jumlah akar primer yang lebih banyak (6.02 helai) dibandingkan setek berbuku satu, yaitu 5 helai (Tabel 6). Contoh perkembangan akar primer pada umur 2 bulan (saat pindah tanam) dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 4. Hasil pemisahan nilai tengah untuk pengaruh konsentrasi IBA terhadap waktu muncul tunas (hari).

Perlakuan IBA (ppm)	Waktu muncul tunas (hari)
0	44.03 ab
500	41.35 a
1000	44.52 ab
2000	47.63 b
BNT 0.05	5.93

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak menunjukkan perbedaan berdasarkan uji BNT pada taraf 5%.

Tabel 5. Hasil pengamatan pengaruh konsentrasi IBA dan jumlah buku pada persentase setek tumbuh (%).

Perlakuan Konsentrasi IBA	Jumlah Buku	
	Satu	Dua
0	83.33	63.33
500	86.67	73.33
1000	93.33	90.33
2000	90.00	73.33
Rata-rata	88.33 a	75.00 b
BNT 0.05	11.68	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang tidak sama menunjukkan perbedaan berdasarkan uji BNT pada taraf 5%.

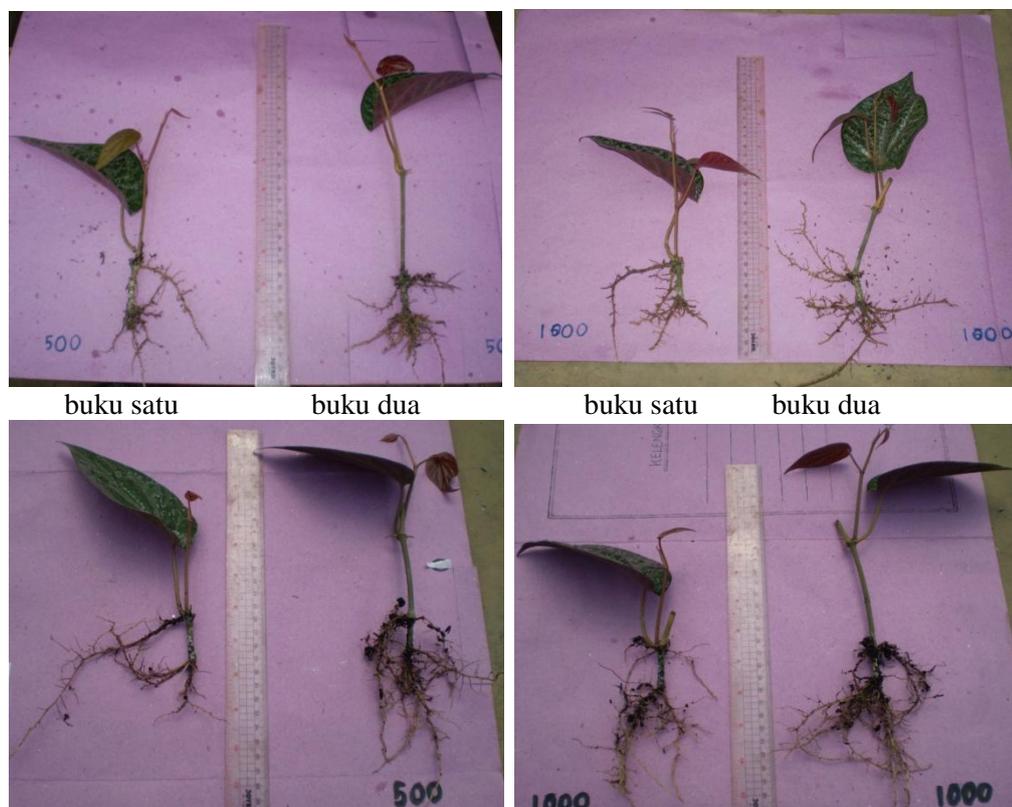
Pengamatan jumlah daun dan panjang sulur tidak menunjukkan adanya pengaruh perlakuan, rata-rata jumlah daun dan panjang sulur berturut-turut 11, 69 helai dan 65,4

cm. Jumlah daun pada setek satu buku yang terbanyak didapat pada konsentrasi IBA 1000 ppm atau 2000 ppm, yaitu 12.64 helai.

Tabel 6. Hasil pemisahan nilai tetapan pengaruh jumlah buku pada persentase setek tumbuh, panjang ruas pertama, dan jumlah akar primer.

Perlakuan	Persentase setek tumbuh (%)	Panjang ruas pertama (cm)	Jumlah akar primer (helai)
Satu buku	88.33 a	6.11 a	5.00 b
Dua buku	75.00 b	5.05 b	6.02 a
BNT 0,05	11.68	0.94	0.84

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang nyata menurut uji BNT pada taraf 5%



Gambar 1. Hasil penyetekan sirih merah umur 2 bulan pada media pasir kali (atas) dan pasir vulkanik (bawah) dengan konsentrasi IBA (500 dan 1000 ppm).

Penanaman setek sirih merah pada campuran media taman pasir vulkanik kualitas pertumbuhannya lebih bagus dibandingkan pada campuran pasir kali (Gambar 1); dilihat dari persentase setek tumbuh, jumlah akar primer, jumlah daun, dan panjang ruas juga pada pasir vulkanik nilainya lebih tinggi. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2, 3, 4 (media pasir kali) untuk dibandingkan dengan Tabel 5 dan 6 (media pasir vulkanik). Pada pasir vulkanik walaupun tumbuh tunasnya lambat tetapi pertumbuhan tunasnya setelah pindah tanam lebih bagus sehingga pembentukan organ tanaman, seperti daun dan pemanjangan

sulur lebih cepat. Pasir vulkanik merupakan batuan beku dengan komposisi basaltic atau andesitic dengan struktur berongga-rongga akibat keluarnya gelembung gas selama erupsi sehingga pasir ini memiliki porositas yang tinggi serta memiliki kandungan mineral dibandingkan pasir kali [11].

Baik pada media campuran pasir kali atau pasir vulkanik, setek berbuku dua menghasilkan jumlah akar primer yang lebih banyak dibandingkan setek berbuku satu. Hal ini disebabkan jumlah buku dua memiliki cadangan makanan yang lebih banyak sehingga memudahkan terbentuknya akar dan tunas [7]. Pembentukan akar pada setek tergantung pada kandungan cadangan makanan dalam bahan setek terutama karbohidrat, nitrogen, dan hormon. Jika kandungan cadangan makanan dalam setek rendah, pembentukan kalus dan akar akan terhambat. Buku pada setek tanaman sirih merah merupakan tempat berkumpulnya cadangan makanan berupa karbohidrat. Karena itu semakin banyak buku yang ada pada bahan setek, cadangan makanan yang tersedia semakin banyak, sehingga akar yang terbentuk akan lebih banyak pula.

Pembentukan akar pada setek juga dipengaruhi oleh jumlah danimbangan hormon, terutama auksin, sitokinin, dan giberelin. Menurut Ashari [12], apabila pada tanaman terkandung giberelin dalam konsentrasi tinggi maka pembentukan akarnya dapat terhambat, sebaliknya bila giberelin dalam konsentrasi rendah justru mampu mendorong pertumbuhan akar adventif. Setek dengan jumlah buku satu diduga memiliki kandungan hormon giberelin yang lebih dominan dibandingkan auksin, sehingga ruas menjadi lebih panjang dan jumlah akarnya sedikit. Sebaliknya setek dengan jumlah buku dua diduga kandungan auksinnya lebih dominan dibandingkan giberelin, sehingga ruas lebih pendek namun jumlah akar yang tumbuh justru lebih banyak.

4. KESIMPULAN

- (1) Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan setek pada media pasir vulkanik lebih bagus dibandingkan pada media pasir kali, dilihat dari persentase tumbuh setek, jumlah akar primer, jumlah daun, dan panjang sulur.
- (2) Setek dengan jumlah buku satu cukup efisien sebagai bahan tanam sirih merah baik pada media pasir vulkanik maupun pasir kali walaupun pada awal pembentukan akar primer jumlahnya lebih sedikit dibandingkan setek dua buku.
- (3) Konsentrasi IBA 500 dan 1000 ppm memberikan pengaruh yang cukup bagus untuk dikombinasikan dengan perlakuan jumlah setek satu buku dibandingkan konsentrasi IBA 2000 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Judd, Campdell, Kellog, and Donoghue. 2006. "Plant Systematics, A Phylogenetic Approach *Piper crocatum* Ruiz and Pav". Dalam http://www.biologie.uni-ulm.de/cgi_bin/queriall/details.pl?id=88434&stufe=A&yp=PVL.2006.systax. Diakses tanggal 16 Juni 2006
- [2] Solikhah, A. 2006. Sirih Merah Menurunkan Glukosa Darah. <http://www.pustakatani.org/HasilPenelitian/tabid/55/ctl/ArticleView/mid/375/articleId/208/SirihMerahMenurunkanGlukosaDarah.aspx>. Diakses 2 Januari 2007.
- [3] Sudewo, B. 2005. *Basmi Penyakit Dengan Sirih Merah*. PT AgoMedia Pustaka. Jakarta. 45 hlm.
- [4] Bayoo. 2006. Sirih Merah: Sembuh Bukan Sekedar Impian. <http://www.kebonkembang.com/mod.php?mod=publisher&op=viewarticle&articleId=112>. Diakses 2 Januari 2007.
- [5] Pranadya. 2006. "Sembuh Bukan sekedar Impian". www.sirih-merah.squarespace.com. <http://www.mail-arelive.com/agromania@yahoo.com/msg00624.html>. Diakses 2 Januari 2007.
- [6] Wudianto, R. 2005. *Membuat Setek, Cangkok, dan Okulasi*. Penebar Swadaya. Jakarta. 172 hlm.
- [7] Hartmann, H.T., D.E. Kester, F.T. Davies, dan R. L. Geneve. 1990. *Plant Propagation (Principles and Practices)*. 5th ed. Prentice Hall Int. Englewood Cliffs New Jersey. 647 p.
- [8] Davis, T.D and B.E, Haissig. 1998. *Adventitious Root Formation in Cuttings*. Dioscorides Press. Portland, Oregon. 315 p.
- [9] Salisbury, F. B. dan C. W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid 3*. Penerjemah D.R. Lukman. Penerbit ITB Bandung. Bandung. 343 hlm.
- [10] Murti, T. 2007. "Pengaruh Jenis Media Pengakaran dan Pemberian Zat Perangasang Akar pada Pertumbuhan Setek Sirih Merah (*Piper crocatum* Ruiz and Pav.)." *Skripsi* Universitas Lampung. Bandar Lampung. 67 hlm.
- [11] Adesidjo. 2008. Media Tanam. <http://www.adesidjo.com/mediatanam.htm>. Diakses 10 Februari 2008
- [12] Ashari, S. 1995. *Hortikultura Aspek Budidaya*. Universitas Indonesia. Jakarta. 485 hlm.

PENGARUH PEMBELAHAN SUBANG TERHADAP PRODUKSI BUNGA DAN SUBANG GLADIOL (*Gladiolus hybridus* L.) KULTIVAR HOLLAND PUTIH DAN HOLLAND PINK

Tri Dewi Andalasari*, Y C Ginting, Sri Rama Diana, Nova Rina Firzayanti

Fakultas Pertanian, Universitas Lampung
email: tridewiandalasari@ymail.com

ABSTRAK

Kendala utama dalam pengembangan bunga gladiol adalah perbanyak tanaman karena produksi subang yang rendah. Pembelahan subang merupakan salah satu cara untuk meningkatkan produksi bunga dan subang serta menghemat kebutuhan bibit. Percobaan ini bertujuan untuk : mengetahui pengaruh pembelahan subang terhadap produksi bunga dan subang gladiol kultivar Holland Putih dan Holland Pink. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK), dengan perlakuan yang disusun secara faktorial 2 x 2 dengan empat ulangan. Faktor pertama adalah kultivar gladiol yaitu Holland Putih dan Holland Pink. Faktor kedua adalah pembelahan subang yaitu subang belah dan subang utuh . Analisis data dilakukan dengan analisis ragam yang dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Kultivar Holland Putih memiliki jumlah floret, diameter floret , panjang tangkai bunga, diameter subang , jumlah kormel dan bobot kormel lebih tinggi dibandingkan dengan kultivar Holland Pink, (2) Perlakuan subang utuh menghasilkan jumlah floret , bobot subang, jumlah kormel, lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan subang belah.

Key words: Kultivar Holland Putih, Holland Pink, pembelahan subang

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik [1], produksi bunga potong gladiol pada tahun 2005 mencapai 14,512,619 tangkai, dan pada tahun 2010 menurun hingga 8,156,961 tangkai. Salah satu penyebab menurunnya produksi bunga gladiol karena ketersediaan bibit yang tidak cukup, baik kualitas maupun kuantitasnya. Bunga potong gladiol dibudidayakan secara vegetatif dengan menggunakan subang/anak subang.

Salah satu kendala dalam penanaman gladiol dengan subang, adalah tanaman hanya dapat menghasilkan satu tangkai bunga dan satu subang baru jika tanpa perlakuan [2], padahal pada subang gladiol terdapat banyak mata tunas yang berpotensi untuk tumbuh menjadi tanaman dan menghasilkan subang baru. Namun tidak semua mata tunas dalam satu subang tersebut tumbuh, hanya satu sampai dua yang tumbuh tergantung kultivarnya. Mata tunas yang tumbuh bersifat dominan terhadap mata tunas yang lain, sehingga mata tunas lain tidak mampu tumbuh.

Subang yang memiliki mata tunas lebih dari satu sangat menguntungkan bila dipakai sebagai bahan perbanyakan dengan cara pembelahan subang. Oleh karena itu pembelahan subang merupakan salah satu cara untuk memecah dominansi apikal subang tersebut. Menurut Soedjono [3], pembelahan subang sebagai bibit ternyata dapat mendorong kecepatan tumbuh tunas, mekar bunga, dan meningkatkan jumlah subang yang dibentuk.

Apabila subang dibelah, maka pada setiap belahan dari subang tersebut akan memacu tumbuhnya tunas baru. Menurut Herlina [4], pembelahan subang akan menghilangkan dominansi salah satu mata tunas pucuk. Pengeratan dan pembelahan subang gladiol ini mampu meningkatkan jumlah tunas [5]. Oleh karena itu dilakukan perbanyakan dengan cara pembelahan subang, satu subang dibelah menjadi dua yang masing-masing belahan memiliki mata tunas. Diharapkan tiap belahan subang akan menghasilkan satu produksi bunga dan satu subang baru. Jadi dalam satu subang akan menghasilkan dua produksi bunga dan dua subang baru.

Tersedianya kultivar akan memberikan dampak yang cukup nyata dalam mempengaruhi produksi tanaman gladiol. Dalam penelitian ini digunakan kultivar Holland Putih dan Holland Pink. Kultivar Holland Pink secara genetik (visual) lebih besar dibandingkan dengan kultivar Holland Putih. Masing-masing kultivar memiliki respons yang berbeda pada tiap perlakuan. Tiap belahan pada masing-masing kultivar memiliki ukuran yang berbeda yang berkaitan dengan cadangan makanan pada awal pertumbuhan. Respons tiap kultivar terhadap pembelahan subang diduga berbeda karena perbedaan secara genetik maupun fisik, kultivar yang ukuran subangnya lebih kecil memiliki respon yang kurang baik terhadap pembelahan subang.

Percobaan bertujuan untuk 1) mengetahui respon kultivar terhadap pembelahan subang, 2) mengetahui pengaruh pembelahan subang terhadap pertumbuhan dan produksi gladiol,

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Gunung Terang Kota Bandar Lampung dari bulan Desember 2011 sampai bulan April 2012 dengan ketinggian tempat 166 m dpl yang diukur dengan menggunakan GPS Oregon 550, dan suhu rata-rata mencapai 32° C.

2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah subang gladiol kultivar Holland Putih, dan kultivar Holland Pink, yang didatangkan dari petani tanaman hias di Cipanas Jawa Barat. Pupuk NPK 16:16:16, tanah, pupuk kandang kambing, arang sekam, fungisida, insektisida, dan air.

2.3 Metode

Perlakuan disusun secara faktorial dalam Rancangan Acak Kelompok (RAK). Faktor pertama adalah kultivar gladiol yaitu kultivar Holand Putih (H1) dan kultivar Holand Pink (H2). Faktor kedua adalah pembelahan subang yaitu subang utuh (SU) dan subang dibelah (SB). Pengelompokan berdasarkan bobot subang.

2.4 Teknik pembelahan subang

Sebelum dibelah subang gladiol direndam dalam fungisida dan bakterisida dalam bentuk cair selama 30 menit, setelah itu dikeringanginkan. Subang dibelah berdasarkan pola mata tunas yang ada diupayakan belahan tidak melukai mata tunas. Setiap belahan subang diberikan olesan fungisida yang berbentuk pasta. Setelah itu dikeringanginkan selama 24 jam.

Media tanam yang digunakan merupakan campuran dari tanah, pupuk kandang kambing dan arang sekam dengan perbandingan 1:1:1. Penanaman dilakukan setelah subang memiliki satu mata tunas berukuran 1 cm atau akar sudah mulai tumbuh. Pemeliharaan tanaman meliputi pemupukan, penyiraman, dan pengendalian hama dan penyakit. Pemupukan dilakukan dengan pemberian pupuk NPK 16:16:16 sebanyak 15 g per tanaman untuk 3 kali aplikasi. Pemanenan dilakukan pagi hari dengan menyertakan 2-3 daun pada tangkai bunga.

2.5 Pengamatan

Parameter yang diukur untuk menguji keabsahan kerangka pemikiran dan hipotesis adalah kecepatan tumbuh tunas (%), kecepatan berbunga (%), jumlah floret (kuntum),

diameter floret (cm), panjang tangkai bunga (cm), diameter subang (cm), bobot subang (g), dan jumlah kormel (anak subang).

2.6 Analisis Data

Data pengamatan dianalisis dengan sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil pada taraf 5%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

Hasil pengamatan terhadap kecepatan tumbuh tunas (%) menunjukkan bahwa kultivar Holland Putih lebih cepat bertunas dibandingkan kultivar Holland Pink, sedangkan perlakuan subang utuh lebih cepat bertunas dibandingkan subang belah baik pada kultivar Holland Putih maupun Hollanda Pink (Tabel 1). Kecepatan berbunga (%) subang gladiol Kultivar Holland Putih lebih cepat dibandingkan Hollan Pink baik subang utuh maupun subang belah, sedangkan pada Kultivar Holland Pink subang belah lebih cepat berbunga dibandingkan subang utuh (Tabel 2).

Hasil percobaan menunjukkan bahwa perlakuan kultivar berpengaruh pada variabel jumlah floret, diameter floret, panjang tangkai bunga, dan diameter subang. Sedangkan perlakuan pembelahan subang berpengaruh nyata pada variabel yaitu jumlah floret, dan bobot subang. Sementara interaksi antarkultivar dan perlakuan pembelahan subang hanya berpengaruh pada variabel jumlah kormel.

Tabel 1. Kecepatan tumbuh tunas (%) Gladiol Holland Putih dan Pink Subang utuh dan belah

Perlakuan	Minggu ke- setelah perlakuan (%)					
	1	2	3	4	5	6
H1 SU	62.5	83.3	100.0			
H1 SB	35.4	35.4	97.9	100.0		
H2 SU	8.33	8.33	83.33	95.83	100.0	
H2 SB	2.08	2.08	54.16	77.08	95.13	100.0

Keterangan : H1 SU : Holland Putih subang utuh H1 SB : Holland Putih subang belah
H2 SU : Holland Pink subang utuh H2 SB : Holland Pink subang belah

Tabel 2. Kecepatan berbunga (%) Gladiol Holland Putih dan Pink Subang utuh dan belah

Perlakuan	Rata-rata (Hari)	Kecepatan berbunga (%)
Holland Putih subang utuh	68.50	20.23
Holland Putih subang belah	79.25	23.41
Holland Pink subang utuh	98.05	28.96
Holland Pink subang belah	92.78	27.40

Jumlah floret (kuntum). Respons kultivar terhadap perlakuan pembelahan subang mempengaruhi jumlah floret. Hasil penelitian menunjukkan Holland Putih memiliki rata-rata pada jumlah floret yaitu 12.62. Subang utuh menghasilkan floret lebih tinggi (11.98) daripada subang belah 9.45. Ukuran subang berpengaruh terhadap jumlah floret (Tabel 3).

Tabel 3. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah floret Gladiol Hollan Putih dan Pink

Perlakuan	Rata-rata	Notasi
H1 (Holland Putih)	12.62	a
H2 (Holland Pink)	8.81	b
BNT 5% = 2.50		
SU (Subang utuh)	11.98	a
SB (Subang belah)	9.45	b
BNT 5 % =2.50		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT pada taraf 5%

Diameter floret (cm). Terdapat perbedaan respon dua kultivar gladiol terhadap diameter floret. Diameter floret Holland Putih lebih baik (10.05 cm) daripada Holland Pink (7.97 cm), pembelahan subang tidak mempengaruhi diameter floret (Tabel 4).

Panjang tangkai bunga (cm). Kultivar Holland Putih memiliki rata-rata panjang tangkai lebih baik (73.35 cm) daripada kultivar Holland Pink (56.41 cm), pembelahan subang tidak berpengaruh terhadap panjang tangkai bunga (Tabel 4).

Tabel 4. Pengaruh perlakuan pada kultivar gladiol terhadap diameter floret (cm), panjang tangkai (cm), diameter subang (cm)

Perlakuan	Diameter floret		Panjang tangkai		Diameter subang	
	Rerata	Notasi	Rerata	Notasi	Rerata	Notasi
H1 (Holland Putih)	10.05	a	73.35	a	4.43	a
H2 (Holland Pink)	7.97	b	56.41	b	3.58	b
BNT 5%	1.43		11.67		0.83	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT pada taraf 5%

Diameter subang (cm). Ada perbedaan respon dua kultivar gladiol terhadap diameter subang. Kultivar Holland Putih memiliki rata-rata panjang tangkai lebih baik (4,43 cm) dari pada kultivar Holland Pink yaitu (3.58 cm). Pembelahan subang tidak mempengaruhi diameter subang baru (Tabel 4).

Bobot subang (g). Bobot subang tidak dipengaruhi kultivar dan hanya dipengaruhi oleh perlakuan pembelahan. Perlakuan subang utuh lebih baik (26.42 g) dari pada subang belah (19.25 g) (Tabel 5).

Tabel 5. Pengaruh perlakuan dan ukuran subang pada kultivar gladiol terhadap bobot subang (g)

Perlakuan	Rata-rata (g)	Notasi
SU (Subang utuh)	26.42	a
SB (Subang belah)	19.25	b

BNT 5 % = 6.94

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT pada taraf 5%

Jumlah kormel. Pada penelitian ini juga terlihat bahwa jumlah kormel dipengaruhi oleh perlakuan subang, pembelahan subang dan interaksinya. Pada Kultivar Holland Putih subang utuh lebih baik daripada subang dibelah tetapi pada Holland Pink pembelahan subang tidak berpengaruh pada jumlah kormel (Tabel 6).

Tabel 6. Pengaruh perlakuan pada kultivar gladiol terhadap jumlah kormel

Perlakuan	Perlakuan	
	Kultivar Holland Putih	Kulivar Holland Pink
Subang utuh	18.65a (a)	2.56b (a)
Subang belah	8.03a (b)	4.10a (a)

BNT 5% = 8.71

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT pada taraf 5% , huruf dalam tanda kurung () menunjukkan arah vertikal dan huruf tanpa tanda kurung menunjukkan arah horizontal.

3.2 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan respon kedua kultivar terhadap variabel kecepatan tumbuh tunas. Pada kecepatan tumbuh tunas Kultivar Holland Putih lebih baik dibandingkan dengan Kultivar Holland Pink. Namun pada kultivar Holland

Putih subang utuh memiliki kecepatan bertunas/tumbuh tunas lebih cepat jika dibandingkan dengan Kultivar Holland Putih subang belah begitupun pada Kultivar Holland Pink.

Pada variabel kecepatan berbunga perlakuan Kultivar Holland putih memiliki korelasi dengan variabel kecepatan tumbuh tunas, yaitu semakin cepat bertunas/tumbuh tunas maka semakin cepat pula tumbuh bunga. Berbeda pada Kultivar Holland Pink perlakuan subang belah tumbuh bunga lebih cepat dibandingkan dengan subang utuh. Perbedaan kultivar menyebabkan perbedaan respon terhadap pembelahan subang, hal ini didukung hasil penelitian yang telah dilakukan pada kultivar Dr. Mansoer dengan pembelahan tengah akan mempercepat pertumbuhan tunas dan bunga [2].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan respon kultivar berpengaruh terhadap jumlah floret, diameter floret, panjang tangkai bunga, diameter subang, dan jumlah kormel. Hal ini diduga berhubungan erat dengan karakteristik/sifat dari masing-masing kultivar. Kultivar Holland Putih memiliki respons yang lebih baik dibandingkan dengan Kultivar Holland Pink. Menurut Andalasari *et.al*, [6] bahwa respons masing-masing kultivar itu berbeda-beda yang diakibatkan oleh perbedaan genetik dari kultivar yang digunakan. Sama halnya pada penelitian Astuti [7] bahwa perbedaan kultivar berpengaruh terhadap peningkatan bobot basah subang, pertumbuhan jumlah subang, dan bobot kering berangkasan.

Banyaknya bunga setiap batang antara 8-16 buah [8]. Masing-masing kultivar menurut SNI gladiol menghasilkan jumlah floret 16 kuntum tanpa perlakuan, namun hasil yang didapat pada rata-rata Kultivolland Putih dan Holland Pink subang utuh hanya mencapai 12 kuntum yaitu masuk ke dalam kelas mutu B. Hal ini berhubungan erat dengan faktor lingkungan, di mana lingkungan asal dari kultivar gladiol ini berbeda dengan lingkungan yang digunakan peneliti.

Data ketinggian tempat untuk daerah Kelurahan Gunuh Terang yang diukur dengan menggunakan GPS Oregon 550 yaitu 166 m dpl dan suhu rata-rata mencapai 32° C. Menurut Rukmana [9], tanaman gladiol baik ditanam pada ketinggian 700-1500 m dpl dan umumnya gladiol tumbuh di dataran tinggi sampai medium dengan suhu optimal antara 10-27° C. Menurut Wilfred [10], tanaman gladiol mampu beradaptasi sampai suhu 40° C.

Perlakuan pembelahan subang berpengaruh terhadap jumlah floret, bobot subang, jumlah kormel. Menurut Rukmana [9], subang gladiol adalah pangkal batang yang membengkak dan memadat yang mengandung cadangan makanan. Pada fase vegetatif yaitu pada pembentukan akar dan daun, tanaman gladiol memanfaatkan cadangan

makanan yang ada pada subang. Dengan demikian subang yang dibelah akan memiliki cadangan makanan yang lebih sedikit daripada subang utuh. Semakin besar subang, cadangan makanan semakin banyak sehingga berpotensi untuk menghasilkan floret dan subang yang lebih baik, terlihat pada jumlah floret, bobot subang, jumlah kormel, lebih rendah jika dibandingkan dengan subang utuh. Namun diameter floret, panjang tangkai bunga, dan diameter subang tidak berbeda dengan perlakuan subang utuh, sesuai dengan [11] pembelahan subang dapat dilakukan pada subang dengan berat 20 g.

Terdapat interaksi perbedaan kultivar dan perlakuan pembelahan subang yaitu jumlah kormel. Pada Kultivar Holland Putih, subang utuh menghasilkan jumlah kormel lebih tinggi dibandingkan dengan subang belah. Jumlah kormel subang utuh pada Holland Putih lebih tinggi daripada subang belah. Sementara itu pada Kultivar Holland Pink tidak ada perbedaan jumlah kormel antara subang belah dan subang utuh.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pertumbuhan dan produksi kultivar Holland Putih lebih baik dibandingkan Holland Pink.
2. Penggunaan subang belah berpengaruh negatif terhadap jumlah floret dan bobot subang.

4.2 Saran

Melakukan penelitian mengenai pengaruh pemupukan terhadap subang belah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jendral Bina Produksi Hortikultura. 2011. Produksi Tanaman Hias Di Indonesia Periode 1997 - 2010.
- [2] Badriah, D.S. 1998. Botani dan Ekologi Gladiol. *Dalam* A. Muharam, T. Sutater, Sjaifullah dan S. Kusumo (Eds.). *Gladiol*. Balai Penelitian Tanaman Hias, Jakarta. p. 3-10.

- [3] Soejono, S. 1992. Pemberian Air kelapa, GA3, Greenzit pada Umbi *Gladiolus hybridus* yang Dibelah. Jurnal Hortikultura Vol. 2 No.2.
- [4] Herlina, D. 1991. *Gladiol*. Penebar Swadaya. Jakarta. 18 hlm.
- [5] Siregar, M. dan Hartutiningsih. 1988. 'Pengaruh Pengeratan dan Pembelahan Umbi'. Jurnal. Cipanas 13 Februari Pp. 103-107.
- [6] Andalasari, T.D. 2010. Respon pertumbuhan dan produksi bunga gladiol (*Gladiolus hybridus* L) terhadap pembelahan subang. Prosiding SN SMAP. Hal 215-219.
- [7] Astuti, E.Y. 2004. *Pengaruh Pembelahan Subang Pada Dua Kultivar Gladiol*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.
- [8] Rismunandar. 1995. *Budidaya Bunga Potong*. Penebar Swadaya. Jakarta. 85 hlm.
- [9] Rukmana, R. 2000. *Gladiol: Prospek Agribisnis dan Teknik Budidaya*. Kanisius Yogyakarta. 76 hlm.
- [10] Wilfret, G. J. 1980. *Gladiolus*. Dalam: Larson, R.A., (Ed) *Introduction to Floriculture*. New York- London: Acad Press. Inc. p. 143-157.
- [11] Badriah, D.S. 2007. *Buklet Petunjuk Praktis Budidaya Gladiol*. Pusat penelitian dan Pengembangan Hortikultura. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian. ISBN 978-979-3871-95-0.

STUDI TRANSFER PARASIT RODENSIA *Plasmodium berghei* IRADIASI DARI INDUK KE ANAK MENCIT SWISS WEBSTER MELALUI PENYUSUAN

Mukh Syaifudin^{1*}, Siti Nurhayati¹, Teja Kisananto¹ dan Gideon Sirait²

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta¹

E-mail : mukh_syaifudin@batan.go.id

Fakultas MIPA Institut Sain dan Teknologi Nasional, Jakarta²

ABSTRAK

Anak-anak dan wanita hamil di daerah endemis malaria merupakan populasi yang paling berisiko terhadap infeksi malaria. Studi menunjukkan bahwa vaksin secara massif mampu menurunkan dampak dari penyakit yang mematikan ini. Tujuan penelitian ini adalah mendeteksi adanya parasit dalam darah anak mencit yang ditransfer melalui kelenjar susu dari induk yang disuntik *P. berghei* iradiasi. Darah mencit mengandung sekitar 1×10^6 parasit/ml diiradiasi sinar gamma dosis 0, 150 dan 175 Gy dan kemudian disuntikkan secara intraperitoneal pada hari mencit melahirkan. Persentase parasitemia (kandungan parasit di dalam sel darah merah) dalam darah induk dipantau setiap dua hari sekali mulai hari ke 3 hingga hari ke 20 pasca injeksi, sedangkan pada anak dipantau setiap tiga hari mulai umur 2 minggu dan diteruskan hingga 4 minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen parasitemia dalam darah induk yang disuntik parasit iradiasi jauh lebih rendah ($P > 0.05$) daripada yang tidak diiradiasi (0 Gy) yang menunjukkan efektivitas sinar gamma dalam mengatenuasi parasit. Tidak terdeteksi adanya parasit dalam darah anak mencit pada waktu-waktu pengamatan yang menunjukkan tidak adanya transfer parasit dari induk, namun terjadi penurunan jumlah anak pada hari awal setelah lahir dari induk yang disuntik parasit non iradiasi.

Kata kunci : vaksin malaria, sinar gamma, *P. berghei*, penyusuan

1 PENDAHULUAN

Malaria merupakan masalah kesehatan masyarakat yang penting danmengancam hampir setengah dari seluruh penduduk dunia [1]. Kondisi ini dikaitkan dengan morbiditas dan mortalitas yang tinggi [2]. Penduduk yang berisiko terkena malaria berjumlah sekitar 2.3 miliar atau 41% dari jumlah penduduk dunia. Setiap tahun, kasusnya berjumlah sekitar 300-500 juta dan mengakibatkan 1.5-2.7 juta kematian, terutama di negara-negara benua Afrika [1,3,4]. Badan kesehatan sedunia (WHO) melaporkan tiga juta anak meninggal setiap tahun karena malaria.

Anak-anak dan wanita hamil di daerah endemis malaria merupakan populasi yang paling berisiko terhadap manifestasi yang berhubungan dengan infeksi malaria [1,2]. Anak-anak hingga umur 6 bulan diketahui relatif lebih resisten terhadap penyakit ini [3-5]. Beberapa hipotesis telah diajukan untuk menerangkan kenyataan tersebut, seperti adanya hemoglobin fetal yang dapat menghambat perkembang biakan parasit [6]),

kekurangan asam para-aminobenzoat dalam diet susu komplit [7, 8], rendahnya terkena gigitan nyamuk [9], dan adanya antibodi (Ab) anti-parasit dari ibunya [10,11].

Sejumlah studi telah meneliti model yang menyerupai situasi pada manusia menggunakan model rodensia untuk malaria [12-16]. Studi awal pada tikus menggunakan parasit *Plasmodium berghei* menemukan bahwa berbagai tingkatan resistensi terhadap infeksi malaria dapat ditransfer dari induk ke anak selama laktasi [13,15]. Dua studi lain pada mencit menggunakan *P. vinckei* dan tikus dengan *P. berghei* juga menemukan bahwa resistensi ini disebabkan adanya antibodi spesifik parasit malaria dalam susu [12,16]. Namun belum ada studi pada hewan coba mengenai bagaimana kemampuan vaksin melindungi anak-anak dari malaria yang diberikan saat laktasi, terlebih untuk diterapkan pada manusia. Secara lebih mendetail perlu diketahui seberapa jauh bahan vaksin dapat ditransfer dari induk ke anak-anaknya melalui kelenjar susu, terlebih lagi untuk vaksin iradiasi.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Propagasi *Plasmodium berghei* dalam mencit

P. berghei strain ANKA diperoleh dari Lembaga Eijkman Jakarta. Mencit strain *Swiss Webster* berumur ± 2 bulan dengan berat sekitar 35 gram diperoleh dari Litbangkes Kementerian Kesehatan, dipelihara dalam sangkar plastik dengan tutup kawat serta diberi makanan pelet dan minuman secara *ad libitum*. Penginfeksi *P. berghei* dilakukan dengan menginokulasi secara intraperitoneal (P0) dan 2 hari kemudian diamati parasitemianya setiap dua hari dengan mengambil darah perifer dari ujung ekor. Parasitemia dicek secara mikroskopis. Setelah diperoleh parasitemia $\pm 10-20\%$, mencit dianestesi dan darah diambil dari pungsi jantung menggunakan *syringe* 1 ml yang berisi anti koagulan (*citrat phospat dextrose/CPD*).

2.2 Iradiasi parasit

Sekitar 1 mililiter darah terinfeksi ($\pm 1 \times 10^6$ parasit/ml inokulum stadium eritrositik) diiradiasi sinar gamma dosis 0, 150 dan 175 Gy pada laju dosis 380 Gy/jam pada IRPASENA Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi BATAN, dengan menghitung waktu pemaparan.

2.3 Induksi kehamilan mencit

Sepasang mencit betina yang birahi dan jantan ditempatkan dalam kandang untuk dikawinkan pada sore hari dan keesokan harinya dicek adanya vaginal plug dengan ciri-ciri khusus. Jika positif maka mencit betina dipisah dan dipelihara hingga mekahirkan (sekitar 21 hari). Pada hari melahirkan, induk mencit disuntik secara intraperitoneal parasit yang telah diiradiasi. Parasit tidak diiradiasi dipergunakan sebagai kontrol. Persentase parasitemia (kandungan parasit di dalam sel darah merah) dalam darah induk dipantau setiap dua hari sekali mulai hari ke 3 hingga hari ke 20, sedangkan pada anak dipantau setiap tiga hari mulai minggu ke 2 hingga 4, pasca penyuntikan. Jumlah anak lahir hingga diambil sampel darahnya dicatat.

2.4 Pewarnaan Giemsa pada apusan darah tipis

Darah dari ujung ekor mencit dibuat sediaan apusan darah tipis pada kaca preparat. Setelah apusan mengering kemudian difiksasi dengan metanol selama 30 detik. Apusan diwarnai dengan 10% larutan Giemsa dan dibiarkan mengering. Selanjutnya preparat diamati dengan menggunakan mikroskop cahaya pada pembesaran 1000x. Parasitemia dihitung dengan memilih bagian-bagian dimana tiap lapangan pandang mengandung sel dengan susunan tidak saling menumpuk. Dihitung jumlah eritrosit yang terinfeksi dari sekitar 1000 sel eritrosit dan 200 sel leukosit yang terhitung.

2.5 Analisis Data

Data dianalisis dengan menggunakan program statistik SPSS versi 16.0.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen parasitemia dalam darah induk mencit (2-3 ekor) yang disuntik parasit iradiasi 150 dan 175 Gy jauh lebih rendah (keduanya 0% selama hari-hari pengamatan) daripada mencit disuntik darah yang tidak diiradiasi (0 Gy) (Tabel 1, Gambar 1 dan 2). Secara statistik terdapat perbedaan bermakna di antara kelompok iradiasi dan non iradiasi ($P > 0.05$). Hal ini menunjukkan efektivitas sinar gamma dalam mengatenuasi parasit dimana parasit yang lemah akibat iradiasi tidak dapat

berkembang atau tumbuh dalam sel darah merah mencit. Mencit disuntik parasit iradiasi pun secara fisik dalam keadaan sehat.

Proses patologi pada malaria adalah akibat gangguan pada siklus eritrosit. Beratnya penyakit malaria berhubungan dengan densitas parasit, serta berhubungan dengan kemampuan parasit bermultiplikasi baik didalam hati maupun di dalam eritrosit. Siklus eritrositik ini menimbulkan tanda dan gejala karakteristik dan tidak akan mereda sampai hospes tersebut mati atau mengaktifkan respon imun yang mampu membunuh atau menekan pertumbuhan parasit [1,8]. Dalam penelitian ini iradiasi gamma digunakan untuk melemahkan parasit malaria dalam stadium darah untuk preparasi vaksin sehingga diharapkan dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan plasmodium di dalam eritrosit dan menyebabkan reduksi parsial parasitemia.

Tabel 1. Persentase parasitemia dalam darah induk mencit pada hari-hari pasca penyuntikan parasit yang diiradiasi dosis 0, 150 dan 175 Gy.

Hari ke-	% Parasitemia pada dosis iradiasi		
	0 Gy	150 Gy	175 Gy
3	1.7	0	0
5	4.6	0	0
7	9.4	0	0
9	11.4	0	0
12	21.2	0	0
15	26.9	0	0
20	32.1	0	0

Dari data tersebut di atas diketahui dosis 150 dan 175 Gy sama efektifnya dalam melemahkan parasit (Gambar 1), meskipun dalam penelitian terdahulu diketahui bahwa dosis 150 Gy lebih efektif daripada dosis 175 Gy dalam menekan parasitemia namun data tersebut diperoleh dari mencit yang tidak menyusui [17,18]. Diduga ada faktor-faktor yang mempengaruhinya yang berkaitan dengan aktivitas penyusuan.

Penelitian juga tidak mendeteksi adanya parasit dalam darah anak mencit pada hari-hari pengamatan yang menunjukkan tidak adanya transfer parasit (Tabel 2), namun terjadi penurunan jumlah anak pada induk yang disuntik parasit non iradiasi selama 2 minggu pasca kelahiran. Tidak terdeteksinya parasit ini kemungkinan disebabkan karena pengambilan darah anak mencit dilakukan setelah berumur 2 minggu. Pengambilan pada umur tersebut dilakukan untuk menghindari kematian anak mencit akibat dimakan oleh induknya karena terganggu. Rentang jumlah anak dari induk yang disuntik parasit iradiasi dosis 150 Gy selama hari-hari awal setelah lahir hingga umur 2 minggu relatif lebih tinggi daripada dosis 0 dan 175 Gy.



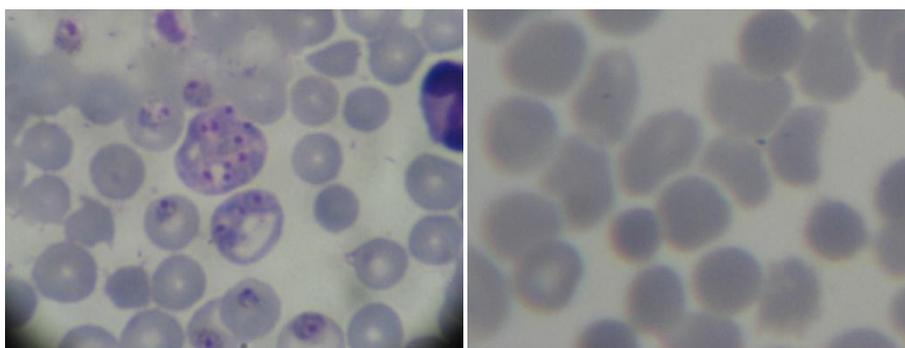
Gambar 1. Persen parasitemia dalam darah induk mencit pada hari-hari pasca penyuntikan *P. berghei* iradiasi.

Tidak ada transfer parasit dari induk ke anak tersebut sangat sesuai dengan hasil-hasil penelitian lain, namun terdapat bukti bahwa obat anti-malaria dapat melewati penyusuan dengan tidak diketahui efeknya pada bayi. Anak-anak umur di bawah 5 tahun jauh lebih rentan terhadap infeksi malaria daripada anak-anak lebih tua dan dewasa disebabkan rendahnya imunitas yang didapat (*acquired*), sehingga mereka harus dilindungi sebaik mungkin seperti tidur dengan kelambu berinsektisida untuk daerah dengan transmisi malaria tinggi [9-11].

Sejumlah besar penelitian vaksin malaria iradiasi difokuskan pada penentuan dosis dan laju dosis iradiasi gamma yang efektif melemahkan parasit berdasarkan parameter hematologi, imunologi maupun parameter relevan lainnya. Namun sejauh pengetahuan penulis, belum diketahui bagaimana seandainya vaksin iradiasi ini diberikan saat seorang ibu menyusui.

Tabel 2. Persentase parasitemia dalam darah anak mencit pada hari-hari mulai 2 minggu pasca kelahiran dari induk yang disuntik parasit iradiasi dosis 0, 150 dan 175 Gy serta rentang jumlah anak.

Hari pasca lahir	% parasitemia pada dosis iradiasi (rentang jumlah anak dalam 2 minggu pasca lahir)		
	0 Gy (4-6)	150 Gy (7-8)	175 Gy (5-8)
15	0	0	0
18	0	0	0
21	0	0	0
24	0	0	0
27	0	0	0
30	0	0	0



Gambar 2. Tampilan mikroskopis apusan darah tipis induk mencit disuntik parasit iradiasi 0 Gy (kiri) dan anak (kanan) pada hari pengamatan.

Sejumlah besar studi menunjukkan resistensi terhadap infeksi malaria pada bayi baru lahir dan anak-anak hingga umur 6 bulan yang menunjukkan adanya antibodi yang diperoleh secara maternal dari ibunya. Bayi baru lahir di daerah transmisi malaria tinggi relatif terlindungi dari malaria di awal kehidupannya, meskipun mekanismenya belum diketahui sepenuhnya [19,20]. Faktor yang terlibat diduga meliputi mekanisme *innate* (termasuk hemoglobin fetal dan susu payudara yang kekurangan PABA), budaya/kebiasaan (membedong bayi sehingga memperkecil pemaparan terhadap nyamuk), transfer transplasental antibodi protektif [21,22] dan *priming* respon bayi dengan mentransfer transplasental parasit atau produknya [23,24]. Akan tetapi kasus di Amerika Serikat, anak-anak dari wanita non-imunokompeten menderita kesakitan febril yang parah akibat malaria *P. falciparum* atau *P. vivax* [25]. Sedikitnya kasus yang sama dari bayi dari ibu yang semi-imun menyiratkan suatu peran protektif sentral untuk transfer antibodi transplasental.

Susu manusia, disamping mengandung komponen nutrisi, juga mengandung sejumlah sel, membran dan molekul yang berfungsi melindungi bayi baru lahir. Pada wanita menyusui, sistem imun *enteromammary* atau *bronchomammary* teraktivasi ketika ada kontak patogen (bakteria) pada membran mukosa saluran cerna atau pernafasan dan akan difagosit oleh makrofage. Hal ini akan menstimulasi sel limfosit T dan menyebabkan diferensiasi limfosit B untuk memproduksi immunoglobulin A (IgA). Limfosit bermigrasi ke kelenjar susu, dimediasi oleh sitokin, kembali ke sel plasma yang memproduksi glikoprotein yang berikatan dengan IgA, dan akhirnya kembali ke *secretory immunoglobulin A* (sIgA). Hal ini merupakan fungsi protektif penting dan spesifik dari susu pada manusia dalam bayi baru lahir [26-28].

Di samping itu, karena malaria tidak ditransmisikan di antara manusia melalui susu, maka pemberian susu perlu terus dipertahankan jika kondisinya memungkinkan secara klinis. Seperti hasil penelitian ini, tidak ada bukti yang mengindikasikan bahwa

malaria dapat ditransmisikan melalui penyusuan [29]. Untuk seorang ibu penderita malaria yang perlu diberi obat maka disarankan diberi kloroquin, quinindan tetrasiklin. Sulfonamida harus dihindari selama bulan pertama penyusuan karena adanya efek merugikan. Oleh karena itu bagi wanita menyusui harus menggunakan obat yang spesifik.

4 KESIMPULAN

Iradiasi gamma efektif melemahkan parasit *P. bergheidan* tidak berkembang biak dalam tubuh mencit Swiss Webster pasca penyuntikan pada saat melahirkan. Tidak terdeteksi adanya parasit dalam darah anak mencit pada waktu-waktu pengamatan yang menunjukkan tidak adanya transfer parasit melalui laktasi atau penyusuan, namun terjadi penurunan jumlah anak pada induk yang disuntik parasit non iradiasi pada hari-hari awal setelah lahir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mcgregor, I. A., Epidemiology, malaria and pregnancy. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 33, 517, 1984.
- [2] Mcgregor, I. A., The development and maintenance of immunity to malaria in highly endemic areas, *Clin. Trop. Med. Commun. Dis.* 1, 1, 1986.
- [3] Bruce-Chwatt, L. 1952. Malaria in African infants and children in Southern Nigeria, *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 46:173.
- [4] Garnham, P. C. 1949. Malaria immunity in Africans: effects in infancy and early childhood *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 43: 47.
- [5] Snow, R. W., Nahlen, B., Palmer, A., Donnelly, C.A., Gupta, S., Marsh, K. 1998. Risk of severe malaria among African infants: direct evidence of clinical protection during early infancy. *J. Infect. Dis.*, 177:819.
- [6] Pasvol, G., Weatherall, D. J., Wilson, R. J. , Effects of foetal haemoglobin on susceptibility of red cells to *Plasmodium falciparum*. *Nature* 270, 171, 1977.
- [7] Hawking, F., Milk diet, *p*-aminobenzoic acid, and malaria in rats and monkeys, *Br. Med. J.* 1, 1201, 1954..
- [8] Maegraith, B. G., Deegan, T., Sherwood J. E. 1952. Suppression of malaria, *Plasmodium berghei*, by milk. *Br. Med. J.* 2:1382.
- [9] Macdonald, G. 1950. The analysis of parasite rates in infants. *Trop. Dis. Bull.* 47:915.
- [10] Akanmori, B. D., Afari, E. A., Sakatoku, H., Nkrumah, F. K. 1995. A longitudinal study of malaria infection, morbidity and antibody titres in infants of a rural community in Ghana. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 89:560.
- [11] Campbell, C. C., Martinez, J. M., Collins, W. E., Seroepidemiological studies of malaria in pregnant women and newborns from coastal El Salvador, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 29, 151, 1980.
- [12] Adler, S., Foner, A. 1965. Transfer of antibodies to *Plasmodium vinckei* through milk of immune mice. *Isr. J. Med. Sci.*, 1: 988.

- [13] Bruce-Chwatt, L. 1954. *Plasmodium berghei* in the placenta of mice and rats: transmission of specific immunity from mother rats to litters. *Nature* 173: 353.
- [14] Desowitz, R. S. 1973. Some factors influencing the induction, maintenance and degree of maternally transmitted protective immunity to malaria (*Plasmodium berghei*), *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 67:238.
- [15] Terry, R. J. 1956. Transmission of antimalarial immunity (*Plasmodium berghei*) from mother rats to their young during lactation, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 50:41.
- [16] Palmer, T. T. 1978. *Plasmodium berghei* infection in pregnant rats: effects on antibody response and course of infection in offspring, *J. Parasitol.* 64:493.
- [17] Nurhayati, S. 2011. Propagasi *Plasmodium berghei* iradiasi gamma laju dosis tinggi pada mencit (*Mus musculus*), Prosiding Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan VII, Jakarta, 6-7 Juli 2011.
- [18] Darlina, Devita, T. 2007. Daya infeksi *Plasmodium berghei* yang diirradiasi sinar gamma, Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan III, Jakarta, 2007.
- [19] Wagner, G., Koram, K., McGuinness, D., Bennett, S., Nkrumah, F., Riley, E.M. 1998. High incidence of asymptomatic malaria infections in a birth cohort of children less than one year of age in Ghana, detected by multicopy gene polymerase chain reaction, *Am J Trop Med Hyg* 59:115–123.
- [20] Riley, E.M., Wagner, G.E., Akanmori, B.D., Koram, K.A. 2001. Do maternally acquired antibodies protect infants from malaria infection? *Parasite Immunology*. 23:51–59.
- [21] Branch, O., Udhayakumar, V., Hightower, A., Oloo, A., Hawley, W., Nahlen, B., Blo, P., Kaslow, D., Lal, A. 1998. A longitudinal investigation of IgG and IgM antibody responses to the merozoite surface protein-119-kiloDalton domain of *Plasmodium falciparum* in pregnant women and infants: associations with febrile illness, parasitemia, and anemia. *Am J Trop Med Hyg* 58: 211–219.
- [22] Hviid, L., Staalsoe, T. 2004. Malaria immunity in infants: a special case of a general phenomenon? *Trends Parasitol.* 20:66–72.
- [23] Malhotra, I., Mungai, P., Muchiri, E., Ouma, J., Sharma, S., Kazura, J.W., King, C.L. 2005. Distinct Th1- and Th2-Type prenatal cytokine responses to *Plasmodium falciparum* erythrocyte invasion ligands. *Infect Immun.* 73:3462–3470.
- [24] King, C.L., Malhotra, I., Wamachi, A., Kioko, J., Mungai, P., Wahab, S.A., Koech, D., Zimmerman, P., Ouma, J., Kazura, J.W. 2002. Acquired immune responses to *Plasmodium falciparum* merozoite surface protein-1 in the human fetus. *J Immunol.* 168:356–364.
- [25] Hulbert, T.V. 1992. Congenital malaria in the United States: report of a case and review. *Clin Infect Dis.* 14:922–926.
- [26] Butler, J.E. 1979. Immunologic aspects of breastfeeding, antiinfectious activity of breast milk. *Semin Perinatol.* 3:255-270.
- [27] Goldman, A.S. 1993. The immune system of human milk: antimicrobial, antiinflammatory and immunomodulation properties. *Pediatr Infect Dis J.* 12:664-672.
- [28] Goldman, A.S. 2002. Evolution of the mammary gland defense system and the ontogeny of the immunesystem. *J Mammary Gland Biol Neoplasia.* 7:277-289.

- [29] Camelo JR, J.S., Motta, M.S.F. 2004. Passagens de agentes infecciosos pelo leite materno. In: Del Ciampo LA, Ricco RG, Nogueira de Almeida CA, editores. Aleitamento materno. Passagens e transferências mãe-filho. São Paulo: Editora Atheneu. p. 43-54.

PENGGANDAAN KROMOSOM JATI (*TECTONA GRANDIS* L.) DENGAN ORYZALIN DALAM KULTUR *IN VITRO* DAN PENDUGAAN TINGKAT PLOIDI

Ence Darmo Jaya Supena*, Ikra Nugraha, Dorly

Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Pertanian Bogor, Bogor
*email: encedarmo@ipb.ac.id

ABSTRAK

Jati (*Tectona grandis* L.) adalah salah satu tanaman kehutanan yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berperan penting dalam penyerapan karbon dioksida. Penggandaan kromosom jati diharapkan akan menghasilkan tanaman jati yang lebih baik secara morfologi dan kualitas kayunya. Salah satu cara untuk menggandakan kromosom ialah menggunakan senyawa antimikrotubul seperti oryzalin. Penelitian ini bertujuan mengetahui konsentrasi oryzalin dan periode perlakuan yang efektif untuk menggandakan kromosom jati dalam kultur *in vitro*. Efektivitas perlakuan penggandaan ini diamati melalui perubahan jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma dan kerapatan stomata serta persentase tanaman yang bertahan hidup setelah perlakuan. Perlakuan oryzalin yang paling efektif untuk menginduksi penggandaan kromosom jati dari diploid menjadi diduga tetraploid, yaitu konsentrasi 5 μ M dengan periode perendaman 3 hari. Kemampuan hidup tanaman setelah kombinasi perlakuan ini mencapai 70%. Sebanyak 60% dari tanaman hidup setelah kombinasi perlakuan ini mengalami peningkatan jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma menjadi dua kali lipat dari rata-rata 6,0-11,9 menjadi 12,0-23,9 kloroplas per stoma dan mengalami penurunan kerapatan stomata.

Kata kunci: *Tectona grandis*, oryzalin, tetraploid, kloroplas, stomata

1. PENDAHULUAN

Jati (*Tectona grandis* L.) merupakan tanaman berupa pohon berkayu anggota famili Verbenaceae yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak tumbuh di hutan tropis India, Myanmar, Laos, Thailand, dan Indonesia [1]. Kayu jati sangat kuat, tahan terhadap pembusukan meskipun dalam keadaan lembab, serta tahan rayap dan serangan serangga lainnya. Kayu jati banyak digunakan sebagai bahan konstruksi, kayu pertukangan, ukiran, dan berbagai fungsi kayu lainnya. Jati merupakan salah satu dari tiga tanaman yang paling banyak ditanam di seluruh dunia setelah *Eucalyptus* spp. dan *Acacia* spp. karena kualitas kayunya [2]. Selain kayu, organ jati lainnya seperti daun, bunga, biji, dan kulit kayunya juga dapat dimanfaatkan dalam pengobatan. Jati sebagai tanaman hutan juga memiliki fungsi penting untuk kelestarian lingkungan hidup karena memiliki kapasitas tinggi dalam menyerap karbon dioksida dari udara atau atmosfer [3].

Pengembangan potensi jati dapat dilakukan dengan cara rekayasa genetika guna mendapatkan genotipe baru yang lebih unggul. Salah satu cara yang potensial ialah melalui induksi penggandaan kromosom (poliploidisasi) [4]. Tanaman jati mempunyai jumlah kromosom diploid $2n=2x=36$ [5]. Tanaman *Rosa rugosa* yang kromosomnya telah digandakan dari diploid menjadi tetraploid, secara morfologi memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan asalnya yang diploid [6]. Penggandaan kromosom pada tanaman berkayu juga pernah dilakukan pada *Eucalyptus globulus* yang terbukti juga dapat merubah morfologi, yaitu daun menjadi lebih tebal dan besar, serta warna daun menjadi hijau tua [7]. Oleh karena itu, upaya induksi penggandaan kromosom tanaman jati dari diploid menjadi tetraploid, diharapkan dapat memperbesar ukuran morfologi sehingga akan meningkatkan produktivitas atau kualitas kayu.

Penggandaan kromosom dapat dilakukan dengan memberikan senyawa antimikrotubul, salah satunya ialah oryzalin. Oryzalin dapat menghambat pembentukan mikrotubul pada sel sehingga mengganggu proses mitosis sel, akibatnya pembelahan sel menjadi terganggu. DNA yang telah bereplikasi akan tetap berada dalam satu sel, sehingga sel tersebut memiliki jumlah kromosom dua kali lipat dari jumlah awalnya [8].

Tanaman hasil induksi penggandaan kromosom mengalami perubahan karakteristik, yaitu bertambahnya jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma menjadi hampir dua kali kloroplas tanaman asalnya [9] dan penurunan kerapatan stomata menjadi setengah dari kerapatan stomata awalnya [10]. Kedua karakteristik tersebut dapat dijadikan sebagai indikator perubahan tingkat ploidi pada tanaman hasil induksi penggandaan kromosom karena penghitungan kromosom pada sel-sel ujung akar secara langsung relatif lebih sulit. Selain itu, penentuan tingkat ploidi sel juga dapat dilakukan dengan menggunakan alat *flow cytometri* [11].

Penelitian yang dilaksanakan bertujuan untuk mengetahui konsentrasi oryzalin dan periode perlakuan (waktu) yang efektif untuk menginduksi penggandaan kromosom jati dalam kultur *in vitro* serta pendugaan hasil penggandaan tersebut melalui identifikasi jumlah kloroplas dalam sel penjaga stoma dan kerapatan stomata.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan Tanaman dan Bahan Kimia

Bahan tanaman yang digunakan ialah eksplan tunas aksilar jati yang diperbanyak secara *in vitro* dan berasal dari satu pohon jati varietas Solomon koleksi General Green Innovation Bogor. Bahan kimia yang digunakan diantaranya ialah komponen media MS [12], kinetin, BAP (*benzyl aminopurin*), oryzalin, EtOH dan AgNO₃.

2.2. Perlakuan Oryzalin

Eksplan tunas jati yang sudah dipersiapkan dikulturkan dalam media MS + sukrosa 30 g/l + kinetin 0.1 mg/l + BAP 0.2 mg/l. Perlakuan oryzalin dilakukan secara faktorial dengan dua faktor (4x4), yaitu konsentrasi oryzalin dan lama perendaman [13]. Konsentrasi oryzalin terdiri atas empat taraf (0, 5, 10, dan 20 μM), dan lama perendaman juga terdiri atas empat taraf (1, 2, 3, dan 7 hari). Perlakuan perendaman oryzalin terhadap eksplan berupa tunas dengan ruas satu buku dilakukan di atas media padat MS. Masing-masing perlakuan dilakukan dengan ulangan sebanyak sepuluh botol yang masing-masing botol berisi lima eksplan. Eksplan hasil perlakuan dipindahkan ke media tanpa larutan oryzalin, kemudian diinkubasi pada suhu $25\pm 2^\circ\text{C}$ dengan foto periode 16 jam per hari (intensitas cahaya=1000-3000 lux) sampai mencapai 4-5 ruas batang (sekitar delapan minggu). Pengamatan terhadap persentase hidup, jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma, dan kerapatan stomata dilakukan pada umur kultur delapan minggu.

2.3. Pengamatan Jumlah Kloroplas dan Kerapatan Stomata

Pengamatan stomata dan kloroplas dilakukan berdasarkan metode yang digunakan Kurtar *et al.* (2009) [14]. Daun pada posisi ruas ke tiga dari pangkal tanaman hasil perlakuan umur delapan minggu diambil dan difiksasi dalam EtOH 70%. Daun disayat dengan silet secara paradermal untuk mendapatkan sediaan epidermis sisi bawah daun (abaksial). Selanjutnya sayatan daun diletakkan pada gelas objek dan ditetesi larutan AgNO_3 1% kemudian ditutup dengan gelas penutup. Preparat dibuat untuk satu tanaman yang bertahan hidup dari setiap botol perlakuan. Preparat epidermis daun diamati di bawah mikroskop cahaya dengan perbesaran 1000x. Pengamatan jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma dilakukan terhadap lima stoma pada lima bidang pandang berbeda. Pengamatan kerapatan stomata dilakukan pada lima ulangan bidang pandang.

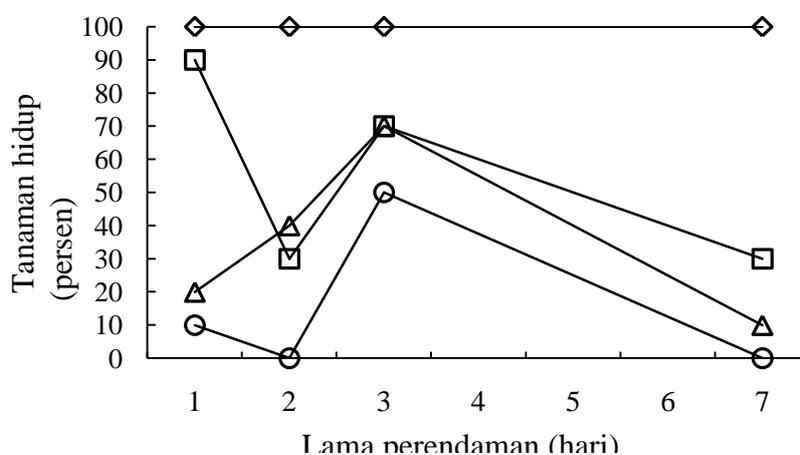
2.4. Analisis Data

Analisis data menggunakan perangkat lunak statistik SPSS 16.0. Data yang dianalisis ialah pengaruh konsentrasi oryzalin, pengaruh waktu perendaman, serta pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dan waktu perendaman terhadap kerapatan stomata dan jumlah kloroplas dengan uji anova ($\alpha=0,05$). Data jumlah kloroplas per stoma dan kerapatan stomata diuji lebih lanjut dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) ($\alpha=0,05$). Selain itu juga dianalisis korelasi antara kerapatan stomata dan jumlah kloroplas menggunakan uji korelasi Pearson.

3. HASIL

3.2. Pengaruh Oryzalin terhadap Persentase Tanaman Hidup

Perlakuan oryzalin dapat mempengaruhi persentase tanaman hidup (Gambar 1). Semua tanaman (100%) pada kontrol dapat hidup sampai umur delapan minggu, sedangkan pada tanaman yang mendapat perlakuan oryzalin, persentase tanaman hidup berkisar 0-90%. Tanaman dengan lama perendaman 3 hari umumnya memiliki persentase hidup yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan 1, 2, dan 7 hari, yaitu 70% untuk konsentrasi 5 dan 10 μM , serta 50% untuk konsentrasi 20 μM .



Gambar 1. Grafik pengaruh perlakuan oryzalin terhadap ketahanan hidup tanaman. Kontrol (\diamond), 5 μM (\square), 10 μM (Δ), dan 20 μM (\circ)

3.2. Jumlah Kloroplas dan Kerapatan Stomata

Faktor konsentrasi oryzalin berpengaruh nyata terhadap jumlah kloroplas dalam sel penjaga stoma ($P\text{-value}=0.0006$) dan kerapatan stomata ($P\text{-value}<0,0001$) berdasarkan uji anova ($\alpha=0.05$) (Tabel 1).

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi oryzalin terhadap jumlah kloroplas dan kerapatan stomata

Konsentrasi Oryzalin (μM)	Jumlah Kloroplas (per Stoma)	Kerapatan Stomata (per mm^2)
0	8.3 ^a	674.0 ^a
5	14.4 ^b	471.4 ^b
10	16.2 ^b	433.4 ^b
20	12.6 ^b	516.6 ^b

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (DMRT)

Perbedaan rataan jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma dan kerapatan stomata terjadi antara kontrol dengan perlakuan oryzalin sedangkan antar konsentrasi oryzalin (5,

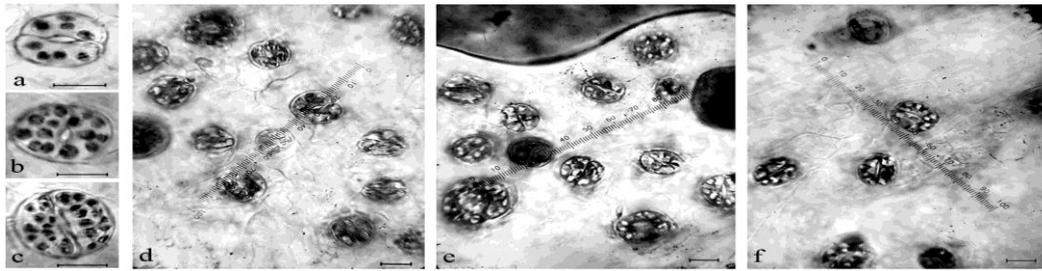
10, dan 20 μM) tidak berbeda nyata. Sedangkan perlakuan lama perendaman (1, 2, 3, dan 7 hari) tidak memberikan pengaruh nyata baik terhadap jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma (P value=0.7002) maupun kerapatan stomata (P value=0.2693). Hal yang sama, yaitu interaksi antara faktor konsentrasi dan lama perendaman juga tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma (P value=0.1844) dan kerapatan stomata (P value=0.2896).

Jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma dan kerapatan stomata berkorelasi negatif (-0.548) berdasarkan uji korelasi Pearson. Semakin banyak jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma, semakin rendah nilai kerapatan stomata.

3.3. Pendugaan Tingkat Ploid

Rataan jumlah kloroplas per stoma pada tanaman kontrol (diploid) adalah 6.0-11.9 dengan kisaran data contoh untuk masing-masing rata-rata dari 5-12 kloroplas per stoma. Oleh karenanya kriteria terjadinya perubahan tingkat ploidi dari diploid menjadi tetraploid berdasarkan jumlah kloroplas per stoma [9] yaitu bila rata-rata ≥ 12 dengan kisaran data contoh ada yang lebih dari 12 (Tabel 2, Gambar 2). Rataan kerapatan stomata pada kontrol (diploid) adalah 620-950 stomata per mm^2 . Oleh karenanya kriteria terjadinya perubahan dari diploid menjadi tetraploid [10] bila rata-rata kerapatan di antara stomata $310 < 620$ stomata per mm^2 (Tabel 2, Gambar 2).

Tanaman hasil perlakuan oryzalin memiliki variasi jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma. Sebanyak 66.6% tanaman perlakuan memiliki 12.0-23.9 kloroplas per stoma sehingga diduga tetraploid, bahkan 4.7% tanaman memiliki ≥ 24 kloroplas per stoma sehingga kemungkinan ploidinya adalah lebih dari tetraploid, dan hanya 28.5% tanaman memiliki kloroplas yang sama dengan kontrol, yaitu 6.0-11.9 kloroplas per stoma sehingga diduga ploidinya tetap diploid. Variasi pada tanaman hasil perlakuan oryzalin ditunjukkan juga oleh kerapatan stomata, yaitu sekitar 61.9% tanaman perlakuan diduga tetraploid karena memiliki nilai kerapatan stomata 310-615 stomata per mm^2 , bahkan 19.0% tanaman berada pada selang < 310 stomata per mm^2 sehingga diduga ploidinya lebih dari tetraploid, dan hanya 19.0% diduga tetap diploid karena memiliki nilai kerapatan stomata yang sama dengan kontrol, yaitu 620-950 stomata per mm^2 daun.



Gambar 2. Jumlah kloroplas pada stoma a) 6.0-11.9; b) 12.0-23.9; c) ≥ 24 kloroplas per stoma dan kerapatan stomata d) 620-950; e) 310-615; f) < 310 stomata per mm^2 . Garis skala=5 μm untuk a, b, c dan 10 μm untuk d, e, f

Tabel 2. Pengelompokan perubahan pada jumlah kloroplas dalam sel penjaga stoma dan kerapatan stomata akibat perlakuan oryzalin berdasarkan control

Konsentrasi Oryzalin (μM)	Lama Perendaman (hari)	Jumlah Tanaman (Botol*) dengan:					
		Rataan Jumlah Kloroplas per Stoma			Rataan Kerapatan Stomata per mm^2		
		6.0-11.9	12.0-23.9	≥ 24	< 310	310-615	620-950
0	1	10	-	-	-	-	10
	2	10	-	-	-	-	10
	3	10	-	-	-	-	10
	7	10	-	-	-	-	10
5	1	2	7	-	1	7	1
	2	-	3	-	1	1	1
	3	1	6	-	2	5	-
	7	1	2	-	-	1	2
10	1	-	2	-	1	1	-
	2	1	2	1	2	2	-
	3	3	3	1	1	4	2
	7	1	-	-	-	-	1
20	1	-	1	-	-	-	1
	2	-	-	-	-	-	-
	3	3	2	-	-	5	-
	7	-	-	-	-	-	-
Pendugaan Tingkat Ploidi		Diploid	Tetra-ploid	>Tetra-ploid	>Tetra-ploid	Tetra-ploid	Diploid

Keterangan: * Satu botol terdiri dari lima tanaman

4. PEMBAHASAN

Pengaruh perlakuan oryzalin ditunjukkan secara nyata oleh konsentrasi oryzalin, sementara pengaruh lama perendaman tidak berbeda nyata terhadap perubahan jumlah kloroplas dalam sel penjaga stoma dan kerapatan stomata. Hal ini serupa dengan hasil induksi poliploidisasi menggunakan senyawa antimikrotubul lain, yaitu kolkisin terhadap tanaman *Secale sereale* L.[15]. Namun hal ini berbeda dengan hasil induksi poliploid

terhadap tanaman *Triticum aestivum* L. yang menyatakan bahwa faktor konsentrasi dan lama perendaman kolkisin saling berinteraksi [16].

Perlakuan oryzalin terbukti dapat mengakibatkan perubahan karakter anatomi, yaitu pada jumlah kloroplas dalam sel penjaga stoma dan pada kerapatan stomata (Tabel 1, Gambar 2). Namun oryzalin juga terbukti memberikan pengaruh letal pada kultur tanaman jati. Berdasarkan Gambar 1, peningkatan konsentrasi oryzalin pada setiap waktu perendaman secara umum menunjukkan peningkatan persen kematian kecuali pada lama perendaman 2 hari. Perlakuan konsentrasi oryzalin yang semakin tinggi dapat mengakibatkan penurunan daya hidup juga dilaporkan untuk tanaman kiwi [17]. Untuk dapat menggandakan kromosom dengan oryzalin selain diperlukan konsentrasi yang tepat juga perlu waktu perendaman yang tepat. Waktu yang diperlukan harus cukup untuk penetrasi oryzalin ke sel-sel meristem tunas, tetapi tidak berlebihan. Jika terlalu lama dapat menyebabkan peningkatan tingkat ploidi lebih dari yang diharapkan [5].

Konsentrasi dan atau lama perendaman yang berlebih juga dapat menyebabkan kematian, karena pada dasarnya oryzalin merupakan senyawa herbisida [18]. Oleh karenanya perlu ditentukan konsentrasi dan lama perendaman oryzalin yang diduga menggandakan jumlah kromosom dari diploid menjadi tetraploid tetapi tidak menyebabkan letalitas yang terlalu tinggi. Lama perendaman pada hasil percobaan ini tidak berpengaruh nyata, tetapi hasil menunjukkan pola tertentu seperti pola adaptasi tanaman terhadap perlakuan oryzalin (Gambar 1). Perendaman selama 3 hari secara konsisten menunjukkan hasil positif baik dalam hal persentase hidup maupun perubahan jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma dan kerapatan stomata yang diamati. Berdasarkan kriteria tersebut, perlakuan paling efektif adalah perlakuan konsentrasi oryzalin 5 μM dengan lama perendaman 3 hari.

Pada konsentrasi oryzalin 5 μM perendaman 3 hari, dari 70% tanaman bertahan hidup, 60% di antaranya (atau 42% dari total tanaman yang mendapat perlakuan) mengalami peningkatan jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma dua kali lipat dari 6,0-11,9 menjadi 12,0-23,9 kloroplas per stoma. Tanaman yang mengalami peningkatan jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma juga mengalami penurunan kerapatan stomata dibandingkan dengan kontrol. Perubahan karakter anatomi tersebut mengindikasikan terjadinya perubahan tingkat ploidi dari diploid menjadi tetraploid atau bahkan lebih dari tetraploid. Perubahan yang terjadi pada jumlah kloroplas pada sel penjaga stoma dan kerapatan stomata dapat menjadi indikator yang akurat, cepat, dan mudah untuk identifikasi berbagai tingkat ploidi tanaman [19]. Jumlah kloroplas sel penjaga stoma tanaman tetraploid kurang lebih dua kali lebih banyak dibandingkan dengan tanaman

asalnya yang diploid. Perubahan kerapatan stomata berkorelasi negatif dengan tingkat ploidinya, semakin tinggi tingkat ploidi, maka kerapatan stomata semakin rendah [20].

Tanaman hasil perlakuan oryzalin yang mengalami peningkatan jumlah kloroplas per stoma hingga dua kali lipat dibandingkan dengan kontrol sebanyak 71.43%, sedangkan tanaman hasil perlakuan oryzalin yang mengalami penurunan kerapatan stomata sebanyak 80.95%. Berdasarkan hasil ini menunjukkan bahwa tidak seluruh tanaman yang mengalami penurunan kerapatan stomata diikuti dengan peningkatan jumlah kloroplas per stoma. Oleh karenanya penggunaan penanda peningkatan jumlah kloroplas per stoma akan lebih akurat daripada menggunakan hanya penanda kerapatan stomata. Kriteria terbaik adalah kombinasi keduanya yaitu peningkatan jumlah kloroplas dalam sel penjaga stoma yang didukung penurunan kerapatan stomata. Hasil juga menunjukkan terdapatnya peningkatan jumlah kloroplas yang meningkat lebih dari dua kali lipat (4.76%) yang didukung penurunan kerapatan stomata yang drastis (19.05%). Hal ini mengindikasikan kemungkinan adanya perubahan ke arah tingkat ploidi yang lebih tinggi dari tetraploid [21].

5. KESIMPULAN

Konsentrasi oryzalin 5 μ M dan lama perendaman 3 hari paling efektif dalam menginduksi penggandaan kromosom jati dari diploid menjadi diduga tetraploid pada kultur *in vitro* dilihat dari perubahan anatomi dan persentase hidupnya. Kemampuan hidup tanaman setelah kombinasi perlakuan ini mencapai 70%. Kombinasi perlakuan ini dapat meningkatkan jumlah kloroplas sel penjaga sampai dua kali lipat dari rata-rata 6.0-11.9 menjadi 12.0-23.9 kloroplas per stoma pada 60% tanaman hidup setelah mendapat perlakuan, dan juga dapat menurunkan kerapatan stomata dibandingkan dengan tanaman kontrol.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Jamaluddin, M.Si dari PT General Green Innovation Bogor yang telah menyediakan sarana dan prasarana sehingga memungkinkan terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kertadikara AWS, Prat D. 1995. Genetic structure and mating system in teak (*Tectona grandis* L.) provenances. *Silvae Genet* 44: 2-3.

- [2] Krishnapillay B. 2000. Silviculture and management of teak plantations. *Unasyuva* 51: 14-21.
- [3] Kraenzel M, Castillo A, Moore T, Potvin C. 2003. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. *For Ecol Man* 173: 213-225.
- [4] Sumarna Y. 2003. *Budidaya Jati*. Cetakan III. Jakarta: Penebar Swadaya.
- [5] Gill BS, Bedi YS, Bir SS. 1983. Cytopalynological studies in woody members of family Verbenaceae from north-west and central India. *J Ind Bot Soc* 62: 235-244.
- [6] Allum JF, Bringloe DH, Roberts AV. 2007. Chromosome doubling in a *Rosa rugosa* Thunb. hybrid by exposure of *in vitro* nodes to oryzalin: the effects of node length, oryzalin concentration and exposure time. *Plant Cell Rep* 26: 1977-1984.
- [7] Lin H, Jian M, Liang LY, Pei WJ, Liu XZ, Zhang HY. 2010. Production of polyploids from cultured shoot tips of *Eucalyptus globulus* Labill by treatment with colchicines. *African J Biotech*. 9: 2252-2255.
- [8] Strachan SD, Hess FD. 1983. The biochemical mechanism of action of the dinitroaniline herbicide oryzalin. *Pest Biochem Physiol* 20: 141-150.
- [9] Ewald D, Ulrich K, Naujoks G. 2009. Introduction of tetraploid poplar and black locust plants using colchicine: chloroplast number as an early marker for selecting polyploids *in vitro*. *Plant Cell Tiss Org Cult* 99: 353-357.
- [10] Thao NTP, Ureshino K, Miyajima I, Ozaki Y, Okubo H. 2003. Induction of tetraploids in ornamental *Alocasia* through colchicines and oryzalin treatment. *Plant Cell Tiss Org Cult* 72: 19-25.
- [11] Hanson L, Boyd A, Johnson MAT, Bennett MD. 2005. First nuclear DNA C-values for 18 eudicot families. *Ann Bot* 96: 1315-1320.
- [12] Murashige T, Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. *Plant Physiol* 15: 473-497.
- [13] Wan Y, Duncan DR, Rayburn AL, Petolino JF, Widholm JM. 1991. The use of antimicrotubule herbicides for the production of doubled haploid plants from anther-derived maize callus. *Theor Appl Genet* 81: 205-211.
- [14] Kurtar ES, Balkaya A, Ozbakir M, Ofluoglu T. 2009. Induction of haploid embryo and plant regeneration via irradiated pollen technique in pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex. Poir). *African J Biotech* 8: 5944-5951.
- [15] Caperta AD, Delgado M, Ressurreicao F, Meister A, Jones RN, Viegas W, Houben A. 2006. Colchicine-induced polyploidization depends on tubulin polymerization in c-metaphase cells. *Protoplasma* 227: 147-153

- [16] Lazareva EM, Polyakov VY, Chenstov YS, Smirnova EA. 2003. Time and cell cycle dependent formation of heterogeneous tubulin arrays induced by colchicine in *Triticum aestivum* root meristem. *Cell Biol Int* 27: 633-646.
- [17] Chalak L, Levage JM. 1996. Oryzalin combine with adventitious regeneration for an efficient chromosome doubling of trihaploid kiwi fruit. *Plant Cell Rep* 16: 97-100.
- [18] Yamamoto E, Zheng L, Baird WV. 1998. α -Tubulin missense mutations correlate with antimicrotubule drug resistance in *Eleusine indica*. *The Plant Cell* 10: 297-308.
- [19] Grouh MSH, Meftahizade H, Lotfi N, Rahimi V, Baniasadi B. 2011. Doubling the chromosome number of *Salvia hains* using colchicine: Evaluation of morphological traits of recovered plants. *J Med Plants Res* 5: 4892-4898.
- [20] Omidbaigi R, Mirzaee M, Hassani ME, Moghadam MS. 2010. Induction and identification of polyploidy in basil (*Ocimum basilicum* L.) medicinal plant by colchicine treatment. *Int J Plant Prod* 4: 87-98.
- [21] Wang S. 1998. Evaluation of various methods for ploidy determination in *Beta vulgaris* L. *J Genet Breed* 52: 83-87.

PRODUKSI MISELIA *TRICHODERMA HARZIANUM*, RIFAI SEBAGAI INOKULAN BIOFUNGISIDA MENGGUNAKAN BEBERAPA MEDIA ALTERNATIF YANG EKONOMIS

Srikandi¹⁾, Lilis Sugiarti²⁾, Ahmad Fauzi³⁾

1. Universitas Nusa Bangsa, Bogor, sriius@yahoo.co.id
2. Universitas Nusa Bangsa, Bogor, lilis_suwarno@yahoo.co.id
3. Pusat Teknologi Industri Agro dan Biomedika (LAPTIAB) – BPPT, Kawasan PUSPIPTEK Serpong.

ABSTRAK

Penyakit tanaman yang disebabkan oleh jamur patogen sampai saat ini masih merupakan masalah utama di bidang pertanian. Petani masih banyak menggunakan pestisida sintetik untuk memberantas penyakit tersebut. Penggunaan pestisida sintetik dapat menimbulkan berbagai masalah bagi lingkungan dan makhluk hidup sehingga perlu dicari alternatif lain dalam mengendalikan penyakit tanaman yang aman. Salah satunya adalah dengan menggunakan agensia pengendali hayati yang bersifat antagonis terhadap jamur patogen tanaman.

Kapang *Trichoderma harzianum*, Rifai merupakan salah satu jenis kapang yang mampu berperan sebagai pengendali hayati dari jenis-jenis jamur patogen tanaman. Kapang ini termasuk jenis kapang tanah, sehingga sangat mudah didapat di berbagai tanah, permukaan akar berbagai macam tumbuhan, juga dapat diisolasi dari kayu busuk atau dari serasah. Selain itu kapang ini memiliki spektrum yang cukup luas untuk mengendalikan jenis-jenis jamur patogen pada tanaman sayuran, palawija, perkebunan sampai tanaman keras.

Media yang umum digunakan sebagai media perbanyakan *T. harzianum*, Rifai adalah media Tabachnick (media paten) yang kaya nutrisi, di sisi lain dinyatakan bahwa kapang ini mampu hidup pada media yang miskin nutrisi. Sehingga dilakukan penelitian untuk menggantikan media Tabachnick dengan media alternatif I (dedak) dan media alternatif II (jagung) yang lebih ekonomis dan dapat diaplikasikan sebagai inokulum untuk memproduksi biofungisida. Kondisi lingkungan perbanyakan miselia dikondisikan pada kondisi lapangan yaitu pada suhu ruang dan dengan kondisi semi steril, sehingga diharapkan bisa dilakukan dilaboratorium yang sangat sederhana.

Dari hasil penelitian di dapat bahwa pH media berubah seiring pertumbuhan miselia *T. harzianum*, Rifai dan kandungan nutrisi media, dengan kisaran pH 4 – 4,9 pada media Tabachnick, kisaran pH 4 – 4,7 pada media dedak dan kisaran pH 4 – 4,3 pada media jagung. Jumlah miselia *T. harzianum*, Rifai pada jam ke-72 paling optimum dihasilkan berturut-turut oleh media Tabachnick, dedak dan jagung sebanyak 7,21 gram/L, 4,45 gram/L, dan 3.09 gram/L. Sehingga pada masing-masing media perbanyakan yang diteliti, media alternatif I (dedak) dapat dijadikan alternatif pengganti media Tabachnick sebagai media perbanyakan, untuk produksi miselia karena lebih ekonomis, mudah didapat dan mudah diaplikasikan pada pertanian.

Kata kunci : *Trichoderma harzianum*, Rifai, Media Tabachnick, Media Dedak dan Media Jagung

1 PENDAHULUAN

Penggunaan pestisida sintetik dapat menimbulkan berbagai masalah bagi lingkungan dan makhluk hidup sehingga perlu dicari alternatif lain dalam mengendalikan penyakit tanaman yang aman. Salah satunya adalah dengan menggunakan agensia pengendali hayati yang bersifat antagonis terhadap jamur patogen tanaman.

Kapang *Trichoderma harzianum*, **Rifai** merupakan salah satu jenis kapang yang mampu berperan sebagai pengendali hayati dari jenis-jenis jamur patogen tanaman. Kapang ini termasuk jenis kapang tanah, sehingga sangat mudah didapat di berbagai tanah, di permukaan akar berbagai macam tumbuhan, juga dapat diisolasi dari kayu busuk atau dari serasah.

Pengembangan teknologi pembuatan biofungisida *T. harzianum*, **Rifai** bertujuan sebagai salah satu langkah terobosan untuk pembuatan produk tersebut agar mudah diaplikasikan dan didistribusikan untuk memenuhi kebutuhan pasar. Jenis *T. harzianum*, **Rifai** mempunyai keistimewaan karena memiliki spectrum yang luas dan dapat digunakan untuk mengendalikan jenis-jenis jamur patogen pada tanaman sayuran, palawija, perkebunan sampai tanaman keras.

Media yang umum digunakan sebagai media perbanyakan *T. harzianum*, **Rifai** adalah media Tabachnick yang kaya nutrisi, di sisi yang lain dinyatakan bahwa *T. harzianum*, **Rifai** merupakan kapang entomopatogen yang mampu hidup pada media yang miskin nutrisi. Untuk itu dilakukan penelitian melalui media alternatif pengganti media Tabachnick sebagai media perbanyakan untuk produksi miselia *T. harzianum*, **Rifai**, yang lebih ekonomis dan dapat diaplikasikan sebagai inokulum untuk memproduksi biofungisida.

2 METODE PENELITIAN

A. Metode

1. Rancangan penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode eksperimental deskriptif terdiri dari tiga perlakuan dan lima kali ulangan. Hasil di analisis dengan ANOVA menggunakan RAL. Selanjutnya jika hasil sidik ragam menunjukkan perbedaan nyata maka akan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur dengan taraf kepercayaan 95%. Variabel yang diamati adalah berat miselia dan pH media, pengamatan dilakukan selama 7 hari setelah waktu inokulasi.

2. Prosedur Kerja

a. Penyiapan suspensi konidia inokulan

Akuades steril sebanyak 20 ml dituangkan pada isolat murni di cawan petri kemudian dihomogenkan dengan menggunakan tongkat drugalsky. Konidia yang luruh dalam air dituangkan pada erlenmeyer yang berisi 80 ml air akuades steril dan dihomogenkan.

b. Penghitungan jumlah suspensi inokulan konidia

Suspensi inokulan konidia diambil 1 mL, kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi air steril sebanyak 9 mL (pengenceran 10^{-1}), lalu di forték kemudian ditetaskan ke hemasitometer dan dilihat di mikroskop dengan perbesaran 400x untuk dihitung jumlah konidia.

c. Perbanyak

Melakukan perbanyak miselia *T. harzianum*, Rifai dengan cara menginokulasikan 1mL suspensi konidia inokulan yang sudah dihitung jumlah konidia yang sama kedalam 100 mL media perbanyak. Media perbanyak di shaker dengan kecepatan 125 rpm dan suhu ruang ($\pm 32^{\circ}\text{C}$).

d. Pengamatan dan pengukuran

Pengamatan dilakukan selama tujuh hari, rentang waktu 24 jam setelah inokulasi, kemudian dilanjutkan dengan pengukuran-pengukuran sebagai berikut :

- Pengukuran pH media; dilakukan untuk melihat apakah ada perubahan pH seiring pertumbuhan miselia *T. harzianum*, Rifai.
- Pengukuran jumlah miselia *T. harzianum*, Rifai; dengan cara pengukuran berat kering miselia.

Berat kering miselia *T. harzianum*, Rifai diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Berat kering (z)} = y - x$$

Keterangan :

x = berat kertas saring kosong (gr)

y = berat kertas saring dan miselia akhir (gr)

z = berat kering miselia *T. harzianum*, Rifai (gr)

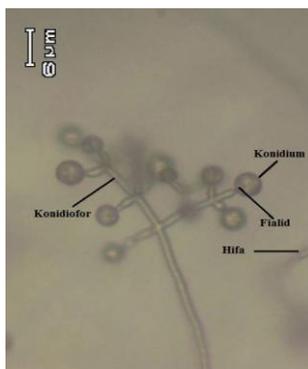
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

i. Morfologi dan koloni *T. harzianum*, Rifai

Morfologi *T. harzianum*, Rifai berdasarkan Gams & Bisset (1998)^[2] memiliki ciri-ciri hifa bersekat, bercabang, dindingnya halus, hialin, berukuran 1.5 – 12 μm , konidiofor tegak, bercabang, bentuknya *verticillate*, fialid *ampulliform* (berbentuk botol), berukuran 3.5 – 7.5 x 2.5 – 3.8 μm . Konidium kecil, berbentuk bulat atau lonjong, berukuran 2.7 – 3.5 x 2.1 – 2.6 μm , dindingnya halus, berwarna hijau muda dan berkumpul pada bagian ujung fialid. Mikrograf *T. harzianum*, Rifai (perbesaran 500x) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mikrograf *T. harzianum*, Rifai (perbesaran 500x)



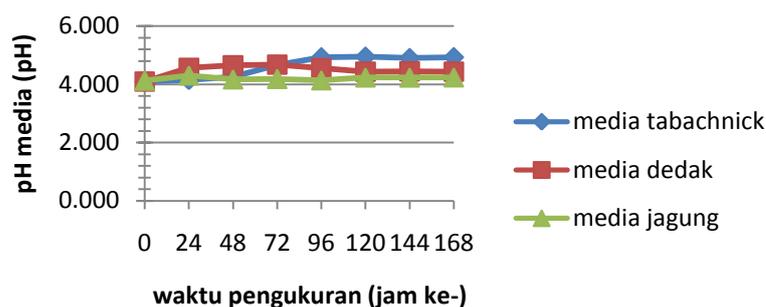
Gambar 2. *T. harzianum*, Rifai Koleksi BBPT

Jumlah suspensi inokulan konidia *T. harzianum*, Rifai yang dihitung menggunakan hemasitometer adalah $3,2 \times 10^7$ cfu/mL. Suspensi tersebut yang selanjutnya diinokulasikan pada masing-masing media perbanyakan, yaitu media Tabachnick, media alternatif I (dedak) dan media alternatif II (jagung). Ketiga media perbanyakan tersebut diteliti dengan maksud untuk mendapatkan media alternatif yang murah, mudah di dapat dan mudah diaplikasikan selain menggunakan media Tabachnick yang dipatenkan sebagai media khusus perbanyakan *T. harzianum*, Rifai, mengingat *T. harzianum*, Rifai merupakan fungi yang mudah tumbuh pada media yang miskin nutrien (Suwahyono dan Wahyudi, 2001)^[9]. Koloni *T. harzianum*, Rifai dapat dilihat pada Gambar 2.

Sesuai dengan ciri-ciri umum *T. harzianum*, Rifai yang dinyatakan oleh Harman (2001)^[3] koloni tumbuh dengan cepat mencapai 7 – 9 cm. Konidiasi dominan effus, nampak granul atau *powdery* karena konidia yang padat, dengan cepat berubah dari warna hijau kekuningan menjadi hijau tua.

ii. pH

Pada awal pembuatan media perbanyakan, pH media diatur pada pH 4 menurut Kubiceck-Pranz (1998)^[6] pH pertumbuhan *T. harzianum*, Rifai yang optimum adalah 4 hingga 6,5. pH mempunyai pengaruh yang kuat terhadap pertumbuhan kapang khususnya yang berhubungan dengan ion hidrogen. Hal ini disebabkan karena banyak ion hidrogen digunakan untuk mengambil nutrisi melalui jalur symport. Seiring dengan waktu hingga jam ke-168 pH berubah menjadi 4,9 dari pH 4. Hasil pengukuran pH media dari 0 jam hingga 168 jam dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik perubahan pH pada berbagai media perlakuan sampai jam ke-168.

1. Perubahan pH pada Media Tabachnick

Pada Gambar 3, dapat dilihat bahwa untuk perlakuan dengan media Tabachnick pada jam ke-24 pH media meningkat menjadi 4,15, selanjutnya pada jam ke-48 pHnya menjadi 4,25 dan terus meningkat sampai jam ke-96 yaitu 4,91. Namun selanjutnya cenderung konstan sampai jam ke-168 pada kisaran pH 4,9. Hal ini kemungkinan terjadi disebabkan oleh kandungan nutrisi yang cukup lengkap pada media Tabachnick seiring dengan meningkatnya pertumbuhan miselia.

2. Perubahan pH pada Media Alternatif I (Dedak)

Hasil penelitian untuk perlakuan media alternatif I sesuai Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada jam ke-24 pH media meningkat dari pH yang pada awal fermentasi diatur pada pH 4 menjadi 4,56, jam ke-48 dan jam ke-72 pH media yang terukur relatif konstan pada 4,6. Namun pada jam ke-96 menurun hingga 4,55 dan pada pengamatan berikutnya hingga jam ke-168 pH yang terukur relatif konstan pada 4,4. Bila dibandingkan dengan media Tabachnick, pH paling tinggi dicapai pada jam ke-72 sedangkan pada media Tabachnick pH tertinggi tercapai pada jam ke-96. Sumber karbon pada media alternatif I diperoleh hanya dari air rebusan dedak dan gula pasir.

3. Perubahan pH pada Media Alternatif II (Jagung)

Perlakuan media alternatif II (jagung) dapat dilihat pada Gambar 3, grafik yang naik turun dari masing-masing waktu pengukuran, mulai dari jam ke-24 hingga jam ke-96 berturut-turut menunjukkan pH 4,30; 4,17; 4,18; dan 4,13 yang kemudian naik lagi dan cenderung konstan pada waktu pengukuran berikutnya hingga jam ke-168 yaitu pada kisaran 4,23.

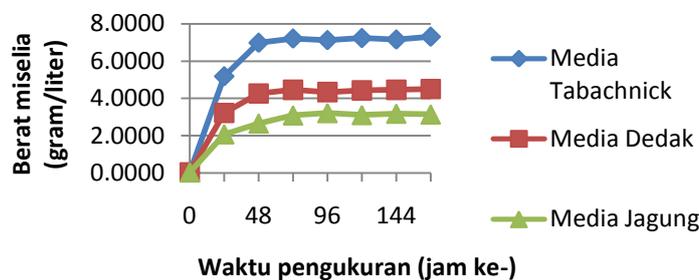
Sumber karbon pada media ini hanya diperoleh dari gula pasir dan rebusan air jagung. Sumber karbon dan nitrogen serta kandungan mineral-mineral pada media jagung ini relatif lebih sedikit dibandingkan media dedak.

Hasil uji BNJ pada berbagai media perlakuan menunjukkan bahwa jam ke-24 sampai jam ke-48, bahwa perlakuan media memberi pengaruh yang berbeda nyata terhadap pH media.

Pada jam ke-72, media dedak dan media Tabachnick tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap pH media, namun pH kedua media tersebut berbeda nyata dengan pH media jagung. Selanjutnya pada jam ke-96 perlakuan media memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap pH, dimana pH media Tabachnick menunjukkan pH yang paling tinggi.

Secara keseluruhan pengukuran pH media pada setiap perlakuan media menunjukkan kecenderungan yang berbeda-beda yang kemungkinan disebabkan oleh perbedaan jumlah sumber karbon, nitrogen dan kandungan mineral-mineral yang terdapat pada masing-masing media yang akhirnya mempengaruhi perbanyakan miselia *T. harzianum*, Rifai. Dimana seiring dengan adanya perbanyakan miselia, pH media cenderung naik. Hal ini sesuai dengan pendapat Rahman (1989)^[7] yang menyatakan bahwa pertumbuhan miselia dalam proses fermentasi sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti pH dan suhu. Kemampuan merespon kondisi pH dan kandungan CO₂ juga bervariasi. Namun secara umum apabila kandungan CO₂ meningkat maka kondisi pH untuk pertumbuhan akan bergeser menjadi semakin basa. (Danielson & Davey, 2002)^[1]. Sedangkan CO₂ merupakan hasil samping fermentasi sumber karbon yang terkandung pada media. Semakin banyak sumber karbon dalam media, maka akan semakin banyak CO₂ yang dihasilkan dan pH akan bergeser menjadi semakin basa.

iii. Berat Kering Miselia



Gambar 4. Grafik berat kering miselia pada berbagai media perlakuan sampai jam ke-168

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa perlakuan media memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap jumlah miselia yang dikorelasikan dengan pengukuran berat kering miselia. Namun ketiga perlakuan media menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu optimum pada jam ke-72 dan cenderung konstan pada pengukuran berikutnya hingga jam ke-168. Media Tabachnick menunjukkan jumlah miselia paling banyak diantara media dedak dan media jagung. Pada jam ke-72 tersebut, jumlah miselia pada media Tabachnick adalah yang paling banyak yaitu 7.2094 gram/Liter. Jumlah miselia media dedak 62% dan media jagung hanya 43% dibandingkan jumlah miselia pada media Tabachnick.

Tabel 1. Hasil perhitungan ratio perbandingan jumlah miselia pada pertumbuhan jam ke-72 terhadap jumlah miselia pada media Tabachnick

Perlakuan Media	Jumlah miselia pada fermentasi jam ke-72	Ratio terhadap media Tabachnick
Media Tabachnick	7.2094 gram/Liter	100%
Media Alternatif I (Dedak)	4.4538 gram/Liter	62%
Media Alternatif II (Jagung)	3.0898 gram/Liter	43%

1 Berat kering miselia pada media Tabachnick

Jumlah miselia yang dihasilkan dengan media Tabachnick mulai jam ke-24 adalah sebesar 5,18 gram/L, terus meningkat hingga jam ke-72 berturut-turut 6,98 gram/L dan 7,21 gram/L kemudian cenderung konstan pada waktu pengukuran berikutnya hingga jam ke-168 yaitu pada kisaran 7,2 gram/L berat kering miselia.

Dari formulasi media Tabachnick yang dipakai pada produksi miselia tersebut dapat diketahui bahwa sumber karbon utama dari media ini adalah glukosa. Sementara PDB dan malt ekstrak merupakan sumber karbon tambahan. Sumber nitrogen pada media ini adalah NH_4NO_3 . Unsur-unsur mikronutrien didapatkan dari $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KCl, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ sebagai bentuk Mg^{2+} , K^+ , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Cl (Tabachnick, 1989). Media Tabachnick merupakan media yang kaya nutrisi yang merupakan media khusus untuk pertumbuhan *T. harzianum*, Rifai.

Media Tabachnick merupakan media standar yang telah dipatenkan dalam US Patent No. 4.837.155, semua nutrisi yang dibutuhkan oleh fungi, termasuk *T. harzianum*, **Rifai**, tersedia pada media ini. Menurut Tabachnick (1989)^[10], produksi *T. harzianum*, **Rifai** secara kultur cair menggunakan media Tabachnick terbukti dengan cepat menumbuhkan dan meningkatkan biomassa terutama miselia.

2 Berat kering miselia pada Media Alternatif I (Dedak)

Perlakuan dengan media dedak untuk proses perbanyakan *T. harzianum*, Rifai menunjukkan jumlah miselia pada jam ke-24 adalah sebesar 3,22 gram/L, terus meningkat dari jam ke-48 hingga jam ke-72 berturut-turut 4,26 gram/L dan 4,45 gram/L selanjutnya cenderung konstan pada waktu pengukuran hingga jam ke-168 yaitu pada kisaran 4,4 gram/L.

Dedak adalah hasil samping dari proses penggilingan padi, mengandung enzim lipase, kandungan serat total berkisar antara 21 – 270% dengan kurang dari 2 % sebagai serat yang larut. Kandungan protein berkisar antara 12 – 20 %. Protein dedak mudah dicerna dan memiliki nilai nutrisi yang tinggi, rasio efisiensi protein 1,6% dan mengandung lemak kasar antara 22 – 30 % (Kahlon, 2006)^[5].

Dalam media kultur, kebanyakan mikroba memerlukan vitamin-vitamin (terutama vitamin B), keseimbangan garam, karbohidrat yang dapat terfermentasi dan asam-asam lemak volatil (VFA) untuk pertumbuhannya. Spesies *Trichoderma* merupakan fungi selulolitik utama pencerna serat.

3 Berat kering miselia pada Media Alternatif II (Jagung)

Berat miselia yang dihasilkan media jagung menunjukkan hasil pada jam ke-24 yaitu sebesar 2,08 gram/L, terus naik hingga waktu pengukuran jam ke-72 berturut-turut 2,66 gram/L dan 3,09 gram/L. Sama dengan kecenderungan pada dua perlakuan media sebelumnya, pada waktu pengukuran berikutnya hingga jam ke-168 menunjukkan kecenderungan konstan pada kisaran jumlah miselia 3,1 gram/L berat kering miselia.

Sumber karbon pada media ini hanya diperoleh dari gula pasir dan rebusan air jagung. Sumber karbon dan nitrogen serta kandungan mineral-mineral pada media jagung ini relatif lebih sedikit dibandingkan media dedak.

Kandungan gizi utama jagung adalah pati (72-73%), dengan nisbah amilosa dan amilopektin 25-30% : 70-75%. Komponen karbohidrat lain adalah gula sederhana, yaitu glukosa, sukrosa dan fruktosa, 1-3% dari bobot biji. Protein jagung (8-11%) terdiri atas lima fraksi, yaitu: albumin, globulin, prolamin, glutelin, dan nitrogen nonprotein. Asam lemak pada jagung meliputi asam lemak jenuh (palmitat dan stearat) serta asam lemak tidak jenuh, yaitu oleat (omega 9) dan linoleat (omega-6). Jagung mengandung serat pangan yang tinggi. Kandungan karbohidrat kompleks pada biji jagung, terutama pada perikarp dan tipkarp, juga terdapat pada dinding sel endosperma dan dalam jumlah kecil pada dinding sel lembaga. Biji jagung mengandung abu sekitar 1,3%, sedikit di bawah serat kasarnya. Kandungan mineral utama adalah fosfor, dalam bentuk kalium dan magnesium fitat, dan keberadaannya terkonsentrasi pada lembaga. Kandungan Fe dalam

biji beragam bergantung pada warna biji. Jagung kuning-oranye mengandung Fe lebih tinggi dibanding jagung kuning, sedangkan jagung putih memiliki kandungan Fe sangat rendah. Kandungan Ca biji berkisar antara 20,1-28,7 mg/100g. Kandungan P kisaran 230-260 mg/100g. Kandungan K berkisar antara 275-305 mg/100g. Hal ini menunjukkan kandungan K biji jagung relatif tinggi. Jagung mengandung dua vitamin larut lemak, yaitu provitamin A atau karotenoid dan vitamin E. Sebagian besar karotenoid terdapat dalam endosperma. Lembaga hanya mengandung sedikit karotenoid. Betakaroten sangat penting sebagai sumber vitamin A. Kandungan karotenoid pada jagung biji kuning berkisar antara 6,4-11,3 µg/g, 22% di antaranya adalah betakaroten dan 51% kriptosantin. Kadar vitamin A jagung biji kuning 1,5-2,6 µg/g. Tiamin (vitamin B1) dan riboflavin (vitamin B2) merupakan vitamin larut air utama di dalam biji jagung. Biji tua mengandung sangat sedikit asam askorbat (vitamin C) dan piridoksin (vitamin B6). Vitamin lainnya yang terdapat dalam jumlah sedikit yaitu asam kholat, folat, dan pantotenat (Suarni dan Widowati. 2007)^[8].

Dari ketiga perlakuan media, berdasarkan berat miselia *T. harzianum*, Rifai produksi yang optimal adalah pada media Tabachnick dengan berat miselia sebanyak 7,21 gram/L yang tercapai pada jam ke-72, sedangkan pada media alternatif I (Dedak) sebanyak 4,45 gram/L dan media alternatif II (Jagung) sebanyak 3,09 gram/L. Sesuai dengan kandungan nutrisi yang terdapat pada masing-masing media, dimana media Tabachnick yang paling kaya nutrisi dibandingkan media dedak dan jagung.

Hal ini sesuai dengan pernyataan Javed, *et al.* (2011)^[4] bahwa bahan mentah yang murah dapat digunakan untuk produksi berbagai produk fermentasi industri. Banyak hasil samping industri agro yang bisa menggantikan bahan sintetik dan substrat yang mahal untuk produksi produk bioteknologi. Dedak menjadi salah satu alternatif untuk media sintetik pada proses fermentasi *T. harzianum*, Rifai. Dedak merupakan substrat yang efisien mengacu pada sirkulasi udara yang lebih baik, ikatan partikel yang longgar dan penetrasi efisien oleh miselia dan murah sehingga prospek secara ekonomi yang lebih baik pada industri fermentasi.

4 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah pH media berubah seiring pertumbuhan miselia *T. harzianum*, Rifai dan tergantung pada kandungan nutrisi media perbanyakkan, dengan kisaran pH 4 – 4,9 pada media Tabachnick, kisaran pH 4 – 4,7 pada media dedak dan kisaran pH 4 – 4,3 pada media jagung. Berat kering miselia *T. harzianum*, Rifai paling optimum dihasilkan oleh media Tabachnick sebanyak 7,21

gram/L, pada media dedak 4,45 gram/L, dan media jagung 3.09 gram/L, pertumbuhan pada jam ke-72. Media alternatif I (dedak) dapat dijadikan alternatif pengganti media Tabachnick sebagai media perbanyakan, untuk produksi miselia *T. harzianum*, Rifai karena lebih ekonomis, mudah didapat dan mudah diaplikasikan pada pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Danielson RM, Davey CB.2002. *Non nutritional factors affecting the growth of Trichoderma in culture*. Soil Biol Chem 5:495-504.
- [2] Gams W, Bissett J. 1998. *Morphology and identification of Trichoderma*. In: *Trichoderma and Gliocladium*. Vol. 1. *Basic biology, taxonomy and genetics* (Kubicek CP & Harman GE, eds.). Taylor & Francis, London:3 –34.
- [3] Harman, G.E. 2001. *Trichoderma spp, Including Trichoderma viride, Trichoderma koningii, in North America*.
<http://aruba.nysaes.cornell.edu/ent/geocontrol/pathogens/trichoderma.html>.
- [4] Javed, M. M. 2011. *Wheat bran as a brown gold: Nutritious value and its biotechnological applications*. African Journal of Microbiology Research Vol. 6(4), pp. 724-733, 30 January, 2012.
- [5] Kahlon, T. 2006. *Rice Bran : Production, Consumption, Functionality and Food Applications, Physiological Benefits*. Journal USDA.
- [6] Kubicek-Pranz, E.M. 1998. *Nutrition, Cellular Structure and Basic Metabolic Pathway in Trichoderma & Gliocladium*. In Kubicek, C.P. & G.E. Harman (eds) 1998. *Trichoderma & Gliocladium* Vol. I. Basic Biology, Taxonomy and Genetics. Taylor & Francis Ltd. London.
- [7] Rahman, A. 1989. *Teknologi Fermentasi Industrial II*. PAU – ITB Bogor
- [8] Suarni dan S. Widowati. 2007. *Sumber, Komposisi dan Nutrisi Jagung*. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros.
- [9] Suwahyono, U. & P. Wahyudi. 2000. *Trichoderma harzianum dan Aplikasinya*. Direktorat Teknologi Bioindustri BPPT, Jakarta.
- [10] Tabachnick, M. and Z. Ziona. 1989. *Method of Growing Trichoderma*. US Patent No. 4.837.155

Kimia

SINTESIS DAN PENCIRIAN ESTER DARI ASAM OLEAT DAN POLIOL BERBASIS-ONGGOK

Armi Wulanawati ¹, Rania Vinata ¹, M Khotib ¹

¹Departemen Kimia FMIPS Institut Pertanian Bogor
run_ia@yahoo.com

ABSTRAK

Onggok merupakan limbah padat industri tapioka yang mengandung selulosa. Konversi selulosa melalui likuifikasi menghasilkan senyawaan polihidroksil (poliol). Proses likuifikasi berlangsung dalam medium etilena glikol berkataliskan asam sulfat pada suhu 150 °C selama 4 jam, dengan rendemen 98.72%. Poliol diesterifikasi dengan asam oleat berkataliskan asam sulfat untuk menyintesis surfaktan nonionik. Esterifikasi berlangsung pada suhu 140 °C selama 4 jam dengan nisbah asam oleat-poliol 1:2, 1:1, dan 2:1. Kadar asam lemak bebas dan bilangan asam hasil esterifikasi berturut-turut sebesar 23, 43, 61% dan 33, 61, 86 mg KOH/g. Spektrum inframerah produk ester tersebut mempunyai ulur C=O pada bilangan gelombang 1750–1715 cm⁻¹, yang tidak terdapat di poliol, tetapi ada di asam oleat (1720–1680 cm⁻¹). Intensitas ulur O-H produk ester lebih lemah dibandingkan dengan spektrum poliol (sekitar 3400 cm⁻¹) dan ulur C-H produk ester di 2950–2800 cm⁻¹ terbentuk dari asam oleat.

Kata kunci: esterifikasi, likuifikasi, poliol, surfaktan nonionik.

1 PENDAHULUAN

Singkong merupakan tanaman pangan yang mengandung karbohidrat. Pada produksi tepung tapioka (salah satu produk olahan singkong), dihasilkan limbah padat ampas singkong (onggok). Berdasarkan hasil analisis, onggok mengandung 82.7% karbohidrat [1].

Limbah pertanian seperti onggok, jerami, sekam padi, ampas tebu, tongkol jagung, sabut kelapa, dan limbah kelapa sawit merupakan sumber energi terbarukan yang berlimpah dengan kandungan karbohidrat seperti selulosa dan lignin. Pemanfaatan limbah pertanian terus berkembang pesat karena berpotensi sebagai sumber energi alternatif dari kebergantungan pada minyak bumi. Hasil konversi limbah pertanian antara lain energi dan bahan baku kimia seperti senyawaan polihidroksil (poliol) melalui likuifikasi. Poliol digunakan sebagai bahan baku pembuatan polimer poliuretan dan surfaktan.

Surfaktan jenis nonionik dapat disintesis melalui esterifikasi antara asam lemak dan poliol. Surfaktan nonionik yang telah dikembangkan seperti *Tween* dan *Span* menggunakan rantai panjang asam lemak seperti asam oleat (asam 9-oktadekenoat) untuk meningkatkan

sifat hidrofobik surfaktan [2]. Penggunaan senyawaan polihidroksil (poliol) dapat meningkatkan sifat hidrofilik surfaktan [3]. Karbohidrat dalam limbah pertanian merupakan sumber senyawaan polihidroksil (poliol).

Sintesis surfaktan nonionik melalui esterifikasi antara asam oleat dan poliol berbasis-onggok belum banyak dikembangkan. Karena itu, tujuan penelitian ini adalah sintesis dan pencirian ester dari asam oleat dan poliol berbasis-onggok dengan menggunakan katalis asam sulfat. Poliol disintesis dari onggok melalui likuifikasi dalam medium etilena glikol dengan katalis asam sulfat. Surfaktan nonionik berbasis-karbohidrat mudah terdegradasi di lingkungan dan tidak menimbulkan iritasi sehingga dapat menjadi alternatif pengganti surfaktan yang disintesis dari minyak bumi.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Likuifikasi Onggok

Etilena glikol sebanyak 150 g dan 4.5 g H_2SO_4 97% (katalis) dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan termometer, pemutar magnet, dan kondensor. Pada suhu 150 °C, ditambahkan 30 g onggok (dikeringkan pada 105 °C selama 24 jam). Proses likuifikasi berlangsung selama 4 jam pada suhu 150 °C.

2.2 Pencirian Poliol

Hasil likuifikasi onggok didinginkan pada suhu ruang, ditambahkan larutan dioksana (dioksana-air, 4:1) dan didiamkan semalaman. Campuran disaring-vakum dan dicuci dengan dioksana hingga tetesan filtrat tidak berwarna. Residu dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 105 °C.

Filtrat dinetralkan dengan NaOH, lalu dimurnikan dari ion sulfat dengan larutan $BaCl_2$. Kemudian dioksana diuapkan dengan penguap putar hingga didapat larutan hitam yang dianalisis dengan FTIR dan HPLC.

2.3 Esterifikasi Asam Oleat dan Poliol

Asam oleat dan poliol diesterifikasi dengan nisbah asam oleat-poliol 1:1, 1:2, dan 2:1. Asam oleat sebanyak 80 g, 80 g poliol, dan 4 g katalis H_2SO_4 97% dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan termometer, pemutar magnet, dan kondensor. Esterifikasi berlangsung 4 jam pada suhu 130–140 °C [4].

2.4 Pencirian Hasil Esterifikasi

Hasil esterifikasi dicuci berulang dengan air distilasi menggunakan corong pisah. Fase minyak kemudian dicuci berulang dengan larutan NaHCO_3 5%. Tahap terakhir, fase minyak dicuci berulang dengan NaCl jenuh. Hasil esterifikasi dianalisis dengan FTIR, HPLC, kadar ALB, dan bilangan asam.

2.5 Penentuan Asam Lemak Bebas dan Bilangan Asam

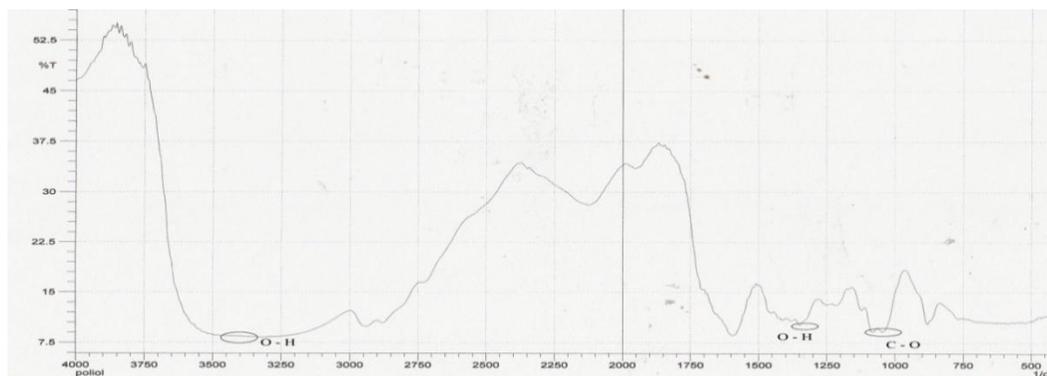
Sebanyak 2.5 g hasil esterifikasi ditimbang ke dalam Erlenmeyer. Pada Erlenmeyer lain dipipet 25 mL etanol, dipanaskan dalam penangas air selama 5 menit pada suhu 60–65 °C. Kemudian ditambahkan 2 mL indikator fenolftalein (pp) dan dititrasi dengan NaOH 0.1 N standar dalam keadaan panas hingga berwarna kemerah-merahan. Etanol netral tersebut dituangkan ke dalam Erlenmeyer yang berisi hasil esterifikasi, dikocok, dan dipanaskan. Dalam keadaan panas, ditambahkan 2 mL indikator pp dan dititrasi dengan NaOH 0.1 N standar sampai berwarna kemerah-merahan [5].

ALB menyatakan jumlah asam lemak bebas yang tidak bereaksi yang terdapat pada hasil esterifikasi. Sementara bilangan asam menyatakan jumlah miligram NaOH yang dibutuhkan untuk menetralkan ALB dalam 1 g minyak atau lemak.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Poliol

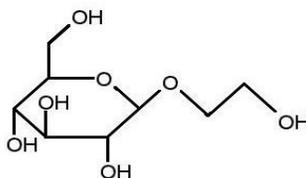
Likuifikasi ongkok dalam sistem etilena glikol berkataliskan asam sulfat menghasilkan cairan hitam berbau khas dan larut-air, diidentifikasi sebagai poliol. Poliol ini akan digunakan sebagai bahan baku surfaktan nonionik melalui esterifikasi dengan asam oleat. Spektrum poliol (Gambar 1) dicirikan oleh vibrasi ulur O-H dan C-O. Di sekitar 3400 cm^{-1} terbentuk puncak ulur O-H yang lemah. Puncak tersebut tidak ada pada spektrum IR ongkok. Vibrasi lemah tekuk O-H terbentuk di 1300 cm^{-1} yang mengidentifikasi O-H pada posisi primer; vibrasi ini juga terdapat pada spektrum IR ongkok. Pada daerah $1100\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ terdapat vibrasi lemah ulur C-O dalam bentuk eter.



Gambar 1 Spektrum IR polioli.

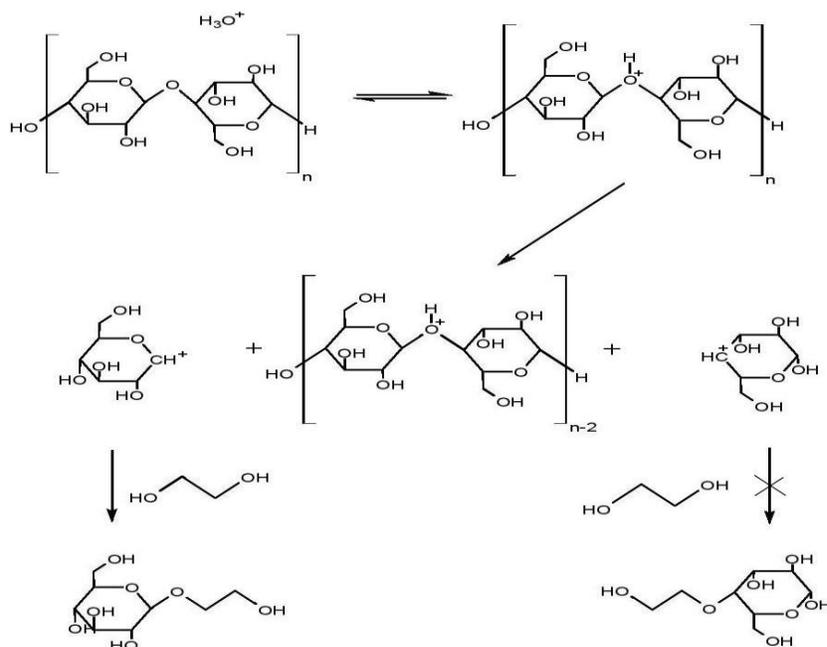
Likuifikasi ongkok selama 4 jam menghasilkan rendemen 98.72%, mendekati hasil penelitian terdahulu, yaitu 98.9% [6]. Rendemen likuifikasi 98% juga dihasilkan dalam sistem etilena karbonat berkataliskan asam sulfat [7]. Katalis asam sulfat lebih efektif dan memberikan rendemen likuifikasi lebih tinggi dibandingkan dengan asam *p*-toluena monohidrat sulfonat (PTSA) dan asam metanasulfonat (MSA). Suhu likuifikasi dan konsentrasi katalis (PTSA dan MSA) harus ditingkatkan untuk mendapatkan rendemen likuifikasi yang setara dengan katalis asam sulfat.

Likuifikasi merupakan proses pemanasan tertutup dalam medium cair sebagai *liquified agent* (alkohol polihidrat, fenol, air), tanpa atau dengan katalis. Katalis asam, basa, atau garam dapat digunakan. Proses likuifikasi dapat berlangsung pada suhu 130–220 °C selama 10 menit–10 jam [8]. Polioli hasil likuifikasi merupakan senyawa polihidroksil yang terdiri atas unsur C, H, dan O dengan gugus fungsi seperti alkohol, eter, aldehida, keton, asam karboksilat, dan cincin aromatik, bergantung pada sumber polioli disintesis [9,10]. Prakiraan struktur polioli hasil likuifikasi (Gambar 2) dalam medium etilena glikol berkataliskan asam sulfat.



Gambar 2 Perkiraan struktur polioli hasil likuifikasi.

Reaksi yang berlangsung pada proses likuifikasi selulosa dalam medium etilena glikol berkataliskan asam ditunjukkan pada Gambar 3. Ketika proton dari asam berinteraksi dengan oksigen pada ikatan β -(1 \rightarrow 4), dua unit glukosa membentuk asam konjugasi. Keberadaan asam konjugasi menyebabkan konformasi tidak stabil sehingga terjadi pemutusan ikatan β -(1 \rightarrow 4) menghasilkan zat antara karbonium. Gugus -OH pada etilena glikol (EG) akan menyerang kation karbonium yang berasal dari ujung pereduksi membentuk EG-glukosida (poliol). Proses tersebut terjadi secara kontinu sampai semua molekul selulosa terlikuifikasi.

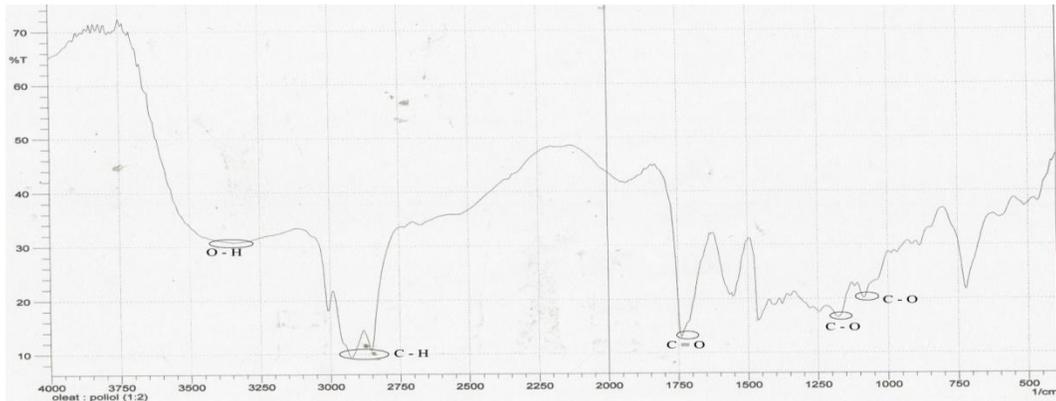


Gambar 3 Reaksi likuifikasi.

3.2 Ester Asam Oleat dan Poliol

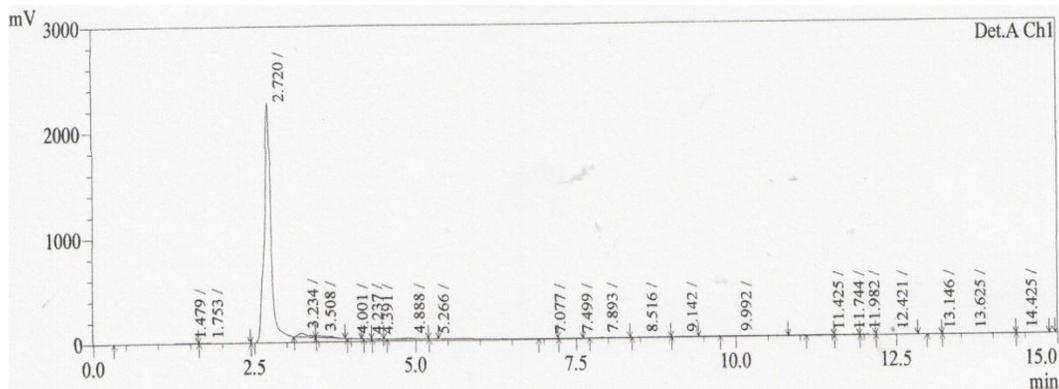
Surfaktan nonionik disintesis melalui esterifikasi asam oleat dengan poliol berkataliskan asam sulfat. Hasil esterifikasi berupa larutan kehitaman berbau khas yang tidak larut dalam air. Spektrum FTIR hasil esterifikasi asam oleat-poliol, 1:2 pada Gambar 4 memperlihatkan ulur C=O dan C-O dari gugus ester. Ulur C=O terdapat pada 1750–1715 cm^{-1} , tidak ada di poliol, tetapi ada di asam oleat (1720–1680 cm^{-1}). Intensitas ulur O-H (sekitar 3400 cm^{-1}) pada hasil esterifikasi lebih lemah dibandingkan dengan poliol. Ulur C-H di 2950–2800 cm^{-1} terbentuk dari asam oleat. Vibrasi ulur C-O ester diperoleh di 1200–1150 cm^{-1} , sedangkan ulur C-O di 1100–1000 cm^{-1} berasal dari eter dan juga terdapat pada

spektrum polioli. Nisbah asam oleat-polioli berpengaruh pada ulur O-H di sekitar 3400 cm^{-1} . Intensitasnya semakin berkurang ketika jumlah asam oleat lebih besar daripada polioli.

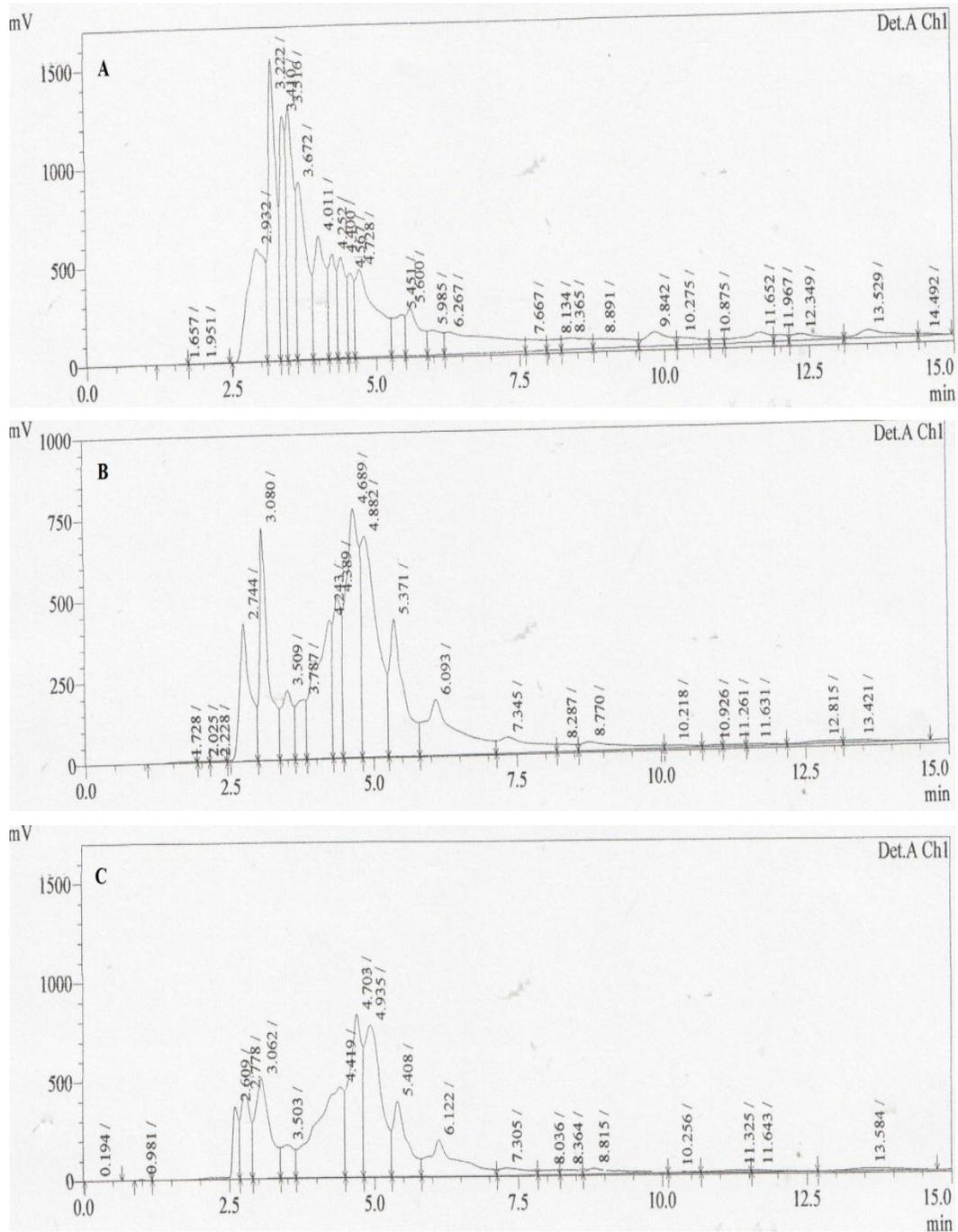


Gambar 4 Spektrum IR hasil esterifikasi asam oleat-polioli 1:2.

Selain menggunakan FTIR, hasil esterifikasi diidentifikasi dengan HPLC. Kromatogram HPLC polioli (Gambar 5) menunjukkan satu puncak pada waktu retensi 2.720 menit. Pada Gambar 6, kromatogram hasil esterifikasi memberikan produk yang beragam, ditunjukkan dengan banyaknya puncak di sekitar waktu retensi polioli. Tinggi puncak-puncak kromatogram produk ester menurun seiring bertambahnya jumlah asam oleat. Pengaruh nisbah asam oleat-polioli dianalisis dengan kadar ALB dan bilangan asam.

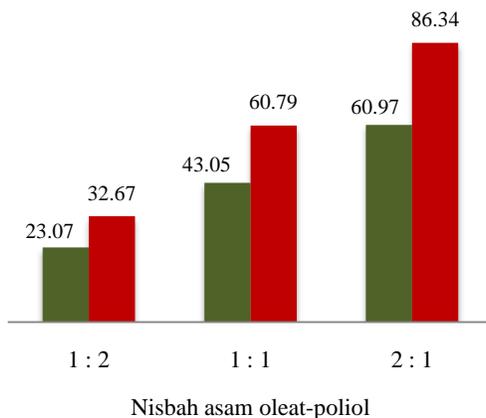


Gambar 5 Kromatogram HPLC polioli.



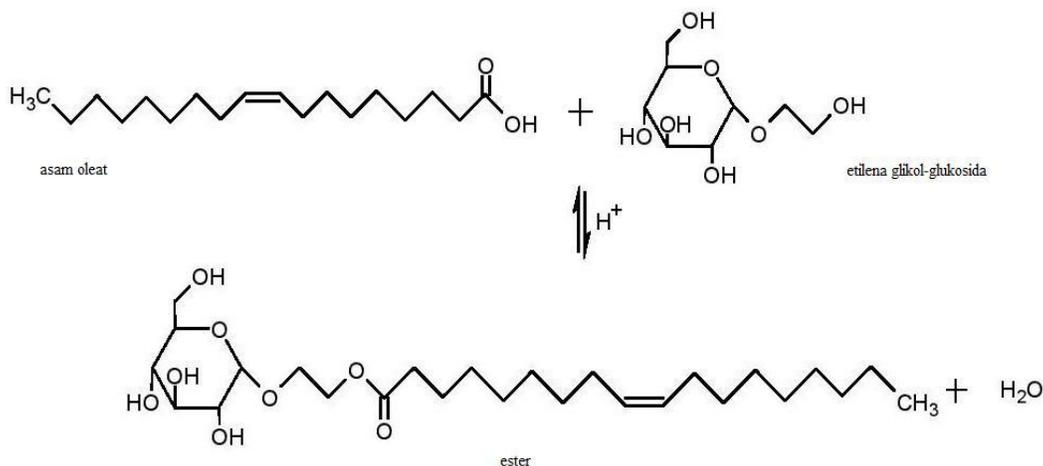
Gambar 6 Kromatogram HPLC hasil esterifikasi asam oleat-poliol, (A) 1:2, (B) 1:1, (C) 2:1.

Kadar ALB dan bilangan asam didapati semakin tinggi seiring bertambahnya jumlah asam oleat (Gambar 7). Kadar ALB dan bilangan asam terkecil dihasilkan pada nisbah asam oleat-poliol 1:2, yaitu sebesar 23.07% dan 32.67 mg KOH/g.



Gambar 7 ALB% (■) dan bilangan asam mg KOH/g (■) hasil esterifikasi.

Esterifikasi merupakan reaksi antara asam karboksilat dan alkohol membentuk ester dan air. Reaksi esterifikasi asam oleat dengan etilena glikol glukosida (poliol) berkataliskan asam sulfat diawali dengan protonasi atom oksigen pada gugus karbonil sehingga asam oleat menjadi lebih elektrofilik. Oksigen dari alkohol selanjutnya menyerang atom C pada gugus karbonil dan melepaskan air sehingga membentuk produk ester (Gambar 8).



Gambar 8 Perkiraan salah satu produk ester.

Reaksi esterifikasi berjalan bolak-balik (reversibel). Faktor-faktor yang memengaruhi reaksi esterifikasi adalah jumlah pelarut, waktu reaksi, suhu reaksi, dan konsentrasi katalis. Nisbah reaktan dalam penelitian ini merupakan nisbah bobot asam oleat (g) terhadap bobot polioliol (g). Nisbah asam oleat terhadap polioliol dapat memengaruhi kesetimbangan reaksi esterifikasi yang bersifat reversibel. Jumlah berlebih reaktan dapat mengarahkan reaksi ke arah pembentukan produk ester. Kondisi optimum reaksi terjadi pada nisbah 1:2 karena menghasilkan kadar ALB dan bilangan asam terkecil, yang menunjukkan bahwa kesetimbangan reaksi berjalan ke arah pembentukan produk ester. Waktu dan suhu reaksi esterifikasi dapat ditingkatkan untuk menurunkan nilai ALB 23.07% pada nisbah asam oleat–polioliol 1:2. Semakin lama waktu reaksi, semakin banyak produk yang dihasilkan, karena memberikan kesempatan lebih banyak reaktan untuk bertumbukan satu sama lain.

4 SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Likuifikasi onggok selama 4 jam pada 150 °C dalam sistem etilena glikol berkataliskan asam sulfat menghasilkan cairan hitam berbau khas dan larut-air, diidentifikasi sebagai polioliol, dengan rendemen 98.72%. Sintesis surfaktan nonionik melalui esterifikasi asam oleat dengan polioliol pada suhu 140 °C selama 4 jam berkataliskan asam sulfat menunjukkan nisbah optimum asam oleat-polioliol 1:2 yang memberikan kadar ALB dan bilangan asam terkecil. Spektrum FTIR menunjukkan telah terbentuknya produk ester.

4.2 Saran

Sintesis surfaktan nonionik dari ester asam lemak-karbohidrat dapat dilakukan secara interesterifikasi. Asam oleat dan polioliol dapat diesterifikasi terlebih dahulu, misalnya dalam bentuk ester metil asam lemak dan glukosa pentaasetat sehingga didapat surfaktan nonionik yang lebih spesifik.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugraha A. 2006. Sintesis ester glukosa oleat dari glukosa pentaasetat dan metil oleat [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

- [2] Daniel. 2009. Sintesis surfaktan dilauril maltosa melalui reaksi asetilasi terhadap maltosa yang diikuti reaksi transesterifikasi dengan metil laurat. *Indo J Chem* 9(3):445-451.
- [3] Porter MR. 1991. *Handbook of Surfactant*. New York: Chapman & Hall.
- [4] Abo-Shosha *et al.* 2009. Preparation and characterization of fatty acid/polyethylene glycol condensates and utilization as textile softeners. *RJTA* 13(2):46-60.
- [5] [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 2005. *Official Methods of Analysis*. Jilid 2. Ed ke-18. Maryland: AOAC.
- [6] Jasiukaitytė E, Kunaver M, Strlič M. 2009. Cellulose liquefaction in acidified ethylene glycol. *Cellulose* 16:393-405.
- [7] Mun SP, Hassan EM, Yoon TH. 2001. Evaluation of organic sulfonic acid as catalyst during cellulose liquefaction using ethylene carbonate. *J Ind Eng Chem* 7(6):430-434.
- [8] Li Y, Zhou Y, Lubgunban A, penemu; The Ohio State University Research Foundation. 7 Dec 2009. Methods for producing polyols and polyurethanes. US 0054059 A1.
- [9] Yuan *et al.* 2009. Comparative studies of products obtained at different temperatures during straw liquefaction by hot compressed water. *Energy & Fuels* 23:3262-3267.
- [10] Yuanhua *et al.* 2009. Liquefaction of corn stover using industrial biodiesel glycerol. *Int J Agric & Bio Eng* 2(2):32-40.

PENERAPAN DESORPSI SEKUENSIAL PADA PENENTUAN INTERAKSI ION CD(II) DENGAN ADSORBEN HIBRIDA AMINO-SILIKA TERCETAK ION

Buhani^{1*}, Narsito², Nuryono², dan Eko Sri Kunarti²

^{1*} *Department of Chemistry, Faculty of Mathematic and Natural Sciences, University of Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No.1 Gedung Meneng Bandar Lampung 35145*

Email: buhani_s@yahoo.co.id

² *Department of Chemistry, Faculty of Mathematic and Natural Sciences, Gadjah Mada University, Sekip Utara Yogyakarta 55281*

ABSTRAK

Interaksi ion Cd(II) dalam larutan dengan adsorben hibrida amino silika (HAS) dan HAS tercetak ion Cd(II) (*i*-Cd-HAS) telah dipelajari melalui proses desorpsi sekuensial. Adsorben HAS dan *i*-Cd-HAS disintesis dari senyawa 3-aminopropiltrimetoksilana (3-APTMS) dan tetraetil ortosilikat (TEOS). Luas permukaan spesifik, volume pori total, dan diameter pori *i*-Cd-HAS masing-masing sebesar 29,010 m² g⁻¹; 0,100 mL g⁻¹; 30,452 Å. Kontribusi interaksi ion Cd(II) ditentukan melalui desorpsi sekuensial dengan eluen air, KNO₃ 1 M, HONH₂HCl 0,3 M dalam 25 % (v/v) CH₃COOH, dan Na₂EDTA 0,1 M. Hasil desorpsi sekuensial menunjukkan kecenderungan kontribusi interaksi ion Cd(II) pada HAS dan *i*-Cd-HAS meningkat dengan urutan interaksi pertukaran ion < pemerangkapan < pembentukan kompleks < ikatan hidrogen.

Kata kunci: desorpsi sekuensial, hibrida amino-silika, mekanisme adsorpsi, logam Cd

1 PENDAHULUAN

Proses adsorpsi dalam fasa larutan sering ditemui pada penyerapan logam berat dalam bentuk larutan menggunakan berbagai jenis adsorben, baik dalam skala laboratorium dan skala makro dalam penanganan limbah cair industri. Proses adsorpsi larutan secara teoritis umumnya lebih rumit bila dibandingkan dengan proses adsorpsi pada fasa gas, uap atau cairan murni. Hal tersebut disebabkan pada adsorpsi larutan melibatkan kompetisi antara zat terlarut dan pelarut atau antara komponen-komponen campuran cairan dengan situs adsorpsi [1]. Proses adsorpsi larutan dapat diprediksi secara kualitatif dari polaritas adsorben dan komponen larutan. Adsorben polar cenderung menyerap lebih kuat adsorbat polar dan adsorbat non polar terserap lebih lemah, demikian pula sebaliknya. Kekuatan adsorpsi hasil kombinasi dari afinitas adsorbat terhadap adsorben.

Kinetika adsorpsi ion logam dalam fasa larutan telah banyak dipelajari seperti adsorpsi ion Cd(II), Pb(II), dan Ni(II) pada alga coklat [2], adsorpsi Nikel pada *Gracilaria caudata* dan *Sargassum muticum* [3]. Kajian khusus proses adsorpsi ion logam pada adsorben tercetak ion yang sudah banyak dilakukan adalah penentuan kapasitas dan selektivitas adsorpsi ion logam [4-8]. Akan tetapi hasil penelitian tersebut belum secara khusus membahas interaksi ion logam dengan adsorben. Mekanisme adsorpsi merupakan salah satu bagian penting dalam kajian kinetika adsorpsi ion logam, karena mekanisme adsorpsi dapat memberikan gambaran tentang interaksi yang terjadi antara ion logam (adsorbat) dan adsorben. Dalam proses adsorpsi selalu diharapkan jumlah ion logam yang teradsorpsi lebih banyak dan mudah dilepaskan (desorpsi) kembali. Dalam hal ini kuat lemahnya interaksi antara ion logam yang teradsorpsi akan diketahui melalui penentuan mekanisme reaksi antara ion logam dan adsorben.

Dalam penelitian ini dipelajari kontribusi interaksi ion Cd(II) dengan adsorben HAS dan *i*-Cd-HAS untuk mengetahui mekanisme adsorpsi ion Cd(II) melalui metode desorpsi. Proses desorpsi tersebut menggunakan metode sekuensial, yaitu dengan cara melepaskan ion Cd(II) yang telah teradsorpsi pada adsorben secara berurutan. Desorpsi dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis eluen, yaitu air, KNO₃ 1M, HONH₂HCl 0,3 M dalam 25 % (v/v) CH₃COOH, dan Na₂EDTA 0,1 M.

2 METODE PENELITIAN

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam sintesis HAS dan *i*-Cd-HAS serta proses adsorpsi-desorpsi meliputi senyawa 3-APTMS, berasal dari Aldrich. TEOS, CdCl₂·H₂O, Na₂EDTA, KNO₃, HONH₂HCl, CH₃COOH, etanol, CH₃COONa, , kertas saring *Whatman* 42, dan kertas indikator Universal berasal dari E-Merck. HCl dan NaOH dari Alba.

Alat-alat yang digunakan meliputi peralatan gelas, timbangan analitik, alat penggerus (lumpang dan mortar), ayakan ukuran 200 mesh, pemanas, pengaduk magnet, sentrifugator, dan pH meter. Kadar logam dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom (SSA) Model Perkins Elmer 3110. Luas permukaan, volume pori total, dan diameter pori adsorben ditentukan dengan alat penganalisis luas permukaan *Quantachrome Nova 1200e*.

Sintesis HAS dan *i*-Cd-HAS

Sintesis adsorben *i*-Cd-HAS dilakukan dengan menggunakan senyawa 3-APTMS. Preparasi larutan dibagi menjadi dua bagian yaitu larutan I dibuat berasal dari campuran TEOS dan air (1 : 1) dan ditambahkan larutan HCl 1 M (pH 2) kemudian diaduk dengan pengaduk magnet selama 30 menit. Larutan II dibuat dari 5 mL etanol dengan 0,2013 gram $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dengan pengadukan. Kemudian ditambah dengan senyawa 3-APTMS dan diaduk sampai homogen. Larutan I dicampur dengan larutan II dengan pengadukan menggunakan pengaduk magnet sampai homogen dan terbentuk gel. Gel yang terbentuk dibiarkan selama 24 jam sampai terbentuk padatan sempurna, selanjutnya padatan hasil sintesis dibilas dengan campuran air/etanol 60/40 % dan dilanjutkan dengan merendam padatan tersebut selama 24 jam dalam larutan Na_2EDTA 0,1 M. Lebih lanjut padatan tersebut direndam dan diaduk selama 30 menit dalam larutan HCl 0,5 M. Padatan yang diperoleh dinetralkan dengan akuades sampai $\text{pH} \approx 7$ dan dikeringkan hingga berat konstan pada 60°C . Material kering digerus sampai berukuran 200 mesh. Perlakuan yang sama diberikan pada sintesis HAS tanpa penambahan $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [9].

Kontribusi interaksi

Untuk menentukan mekanisme adsorpsi ion logam diawali dengan proses adsorpsi menggunakan 50 mL larutan Cd(II) 500 mg L^{-1} pada 100 mg adsorben *i*-Cd-HAS. Penentuan mekanisme adsorpsi dilakukan dengan metode desorpsi sekuensial. Desorpsi dikerjakan dengan mendesorpsi ion Cd(II) yang telah teradsorpsi pada adsorben dengan menggunakan 50 mL larutan yang kekuatan mendesorpsinya berbeda yaitu yaitu air, KNO_3 1 M, HONH_2HCl 0,3 M dalam 25 % (v/v) CH_3COOH , dan Na_2EDTA 0,1 M.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

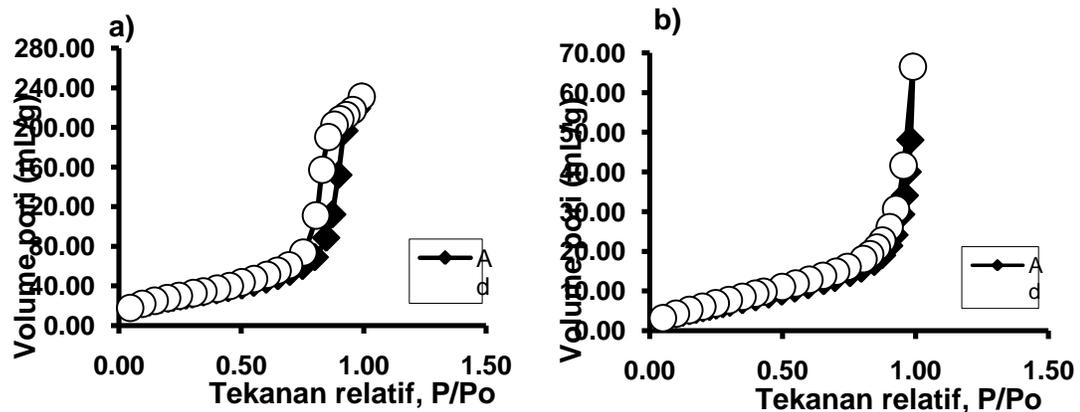
Luas permukaan, ukuran dan distribusi pori adsorben

Penentuan luas permukaan spesifik, volume pori total, dan diameter pori dari HAS dan *i*-Cd-HAS dibandingkan dengan silika gel dapat dilihat dari hasil analisis dengan menggunakan penganalisis luas permukaan (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil analisis luas permukaan silika, HAS, dan *i*-Cd-HAS

Material	Luas permukaan spesifik ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	Volume pori total (mL g^{-1})	Diameter pori (\AA)
Silika	199,801	0,272	54,498
HAS	87,873	0,350	50,672
<i>i</i> -Cd-HAS	29,010	0,100	30,452

Pada Tabel 1 dapat diamati bahwa HAS dan *i*-Cd-HAS memiliki luas permukaan spesifik dan volume total pori relatif lebih kecil dibandingkan dengan silika gel. Modifikasi silika dengan 3-APTMS menyebabkan permukaan silika tertutup oleh senyawa aktif, sehingga luas permukaan spesifik semakin berkurang. Hal ini disebabkan terjadinya interaksi molekul organik pada permukaan silika yang menjelaskan fakta adanya gugus *pendant* (terkait) yang menghalangi adsorpsi gas nitrogen [10,11]. Ikatan alkil mengisi ruang di dalam pori silika yang menyebabkan penurunan dari volume pori [12].



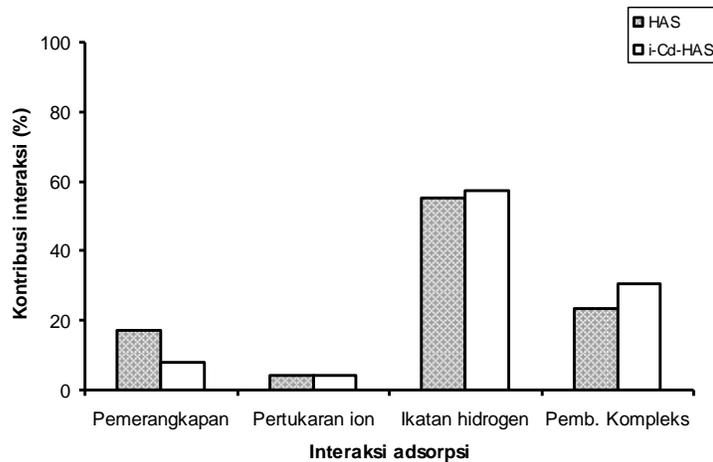
Gambar 1. Pola isoterm adsorpsi-desorpsi nitrogen pada a) HAS dan b) *i*-Cd- HAS

Kontribusi Interaksi

Pada penelitian ini dilakukan desorpsi ion Cd(II) yang teradsorpsi pada material *i*-Cd-HAS untuk mengetahui mekanisme adsorpsinya. Desorpsi dengan air diharapkan dapat menggambarkan kontribusi mekanisme pemerangkapan pada proses adsorpsi. Larutan KNO_3 digunakan untuk menjelaskan kontribusi pertukaran ion. Kontribusi ikatan hidrogen dalam adsorpsi ion Cd(II) dilakukan dengan pendesorpsi HONH_2HCl 0,3 M dalam 25 % (v/v) CH_3COOH . Molekul HONH_2HCl mampu berikatan secara kuat melalui ikatan hidrogen karena memiliki gugus hidroksi (OH^-). Penggunaan Na_2EDTA bertujuan untuk mendesorpsi

ion Cd(II) teradsorpsi melalui pembentukan kompleks. Ion EDTA^{2-} merupakan ligan pengkhelat yang sangat kuat sehingga ion logam yang terikat pada adsorben akan terdesorpsi melalui pembentukan kompleks Cd(II)-EDTA yang relatif stabil dengan harga $\log k_f = 16,36$ [13].

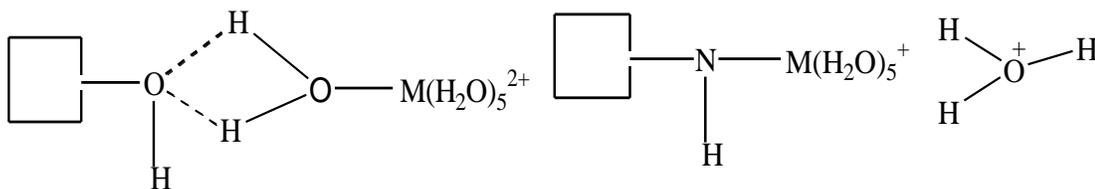
Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa kecenderungan kontribusi interaksi ion Cd(II) pada material *i*-Cd-HAS meningkat dengan urutan mekanisme pertukaran ion < pemerangkapan < pembentukan kompleks < ikatan hidrogen. Data kontribusi interaksi ion Cd(II) pada material HAS dan *i*-Cd-HAS (Gambar 2) menunjukkan mekanisme pemerangkapan lebih cenderung terjadi pada HAS dibandingkan dengan *i*-Cd-HAS. Hal ini disebabkan oleh ukuran pori HAS yang relatif lebih besar dari *i*-Cd-HAS. Diameter pori dari material HAS (50,672 Å) sedangkan *i*-Cd-HAS 30,452 Å (Tabel 1), sehingga memungkinkan untuk mengadsorpsi ion Cd(II) dalam bentuk terhidrat.



Gambar 2. Kontribusi interaksi ion Cd(II) pada material HAS dan *i*-Cd-HAS

Adsorben HAS dan *i*-Cd-HAS memiliki gugus aktif seperti gugus -OH dan amina [14]. Untuk mekanisme pertukaran ion pada HAS dan *i*-Cd-HAS kedua-duanya relatif kecil (sekitar 4%). Kontribusi pertukaran ion untuk ion logam divalen pada material dapat terjadi apabila afinitas gugus -OH dan amina pada adsorben baik terhadap ion logam. Akan tetapi, berdasarkan sifat kekerasannya maka gugus -OH dan amina merupakan basa keras sedangkan ion Cd(II) merupakan asam lunak sehingga berdasarkan konsep *Hard and Soft Acids and Bases* (HSAB) Pearson [15], tidak ada kesesuaian sifat kekerasan dan kelunakan

antara ion Cd(II) dengan gugus-gugus aktif pada HAS maupun *i*-Cd-HAS sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya interaksi melalui pertukaran ion.



Gambar 3 Mekanisme interaksi ion logam dan adsorben melalui a) Pembentukan ikatan Hidrogen dan b) Pembentukan kompleks dalam larutan

Mekanisme pembentukan ikatan hidrogen (Gambar 3a) lebih mempengaruhi interaksi ion logam dan material HAS dan *i*-Cd-HAS dibandingkan dengan mekanisme pemerangkapan dan pertukaran ion. Ion Cd(II) dalam air berada dalam spesies $[CdOH(H_2O)_5]^+$ dan $[Cd(OH)_2(H_2O)_4]$ [16]. Adanya H_2O yang terikat pada ion Cd(II) dapat digunakan untuk membentuk ikatan hidrogen dengan gugus aktif adsorben. Proses pencetakan ion ternyata tidak meningkatkan kontribusi ikatan hidrogen pada *i*-Cd-HAS, sehingga dapat dinyatakan proses pencetakan ion Cd(II) tidak merubah struktur permukaan adsorben, tetapi meningkatkan selektivitas terhadap ion Cd(II) [9].

Mekanisme adsorpsi ion Cd(II) pada HAS dan *i*-Cd-HAS juga terjadi melalui pembentukan kompleks (Gambar 3b). Pada *i*-Cd-HAS terjadi peningkatan kontribusi pembentukan kompleks dibandingkan dengan HAS. Mekanisme dapat terjadi dipengaruhi oleh keberadaan gugus aktif pada material, seperti gugus silanol, siloksan dan amina [9]. Mekanisme pembentukan kompleks antara ion Cd(II) dengan HAS dan *i*-Cd-HAS, memiliki kontribusi lebih rendah dibanding pembentukan ikatan hidrogen, ini diperkirakan karena bentuk ion logam yang berupa kompleks terhidrat akan lebih cenderung untuk membentuk ikatan hidrogen dengan gugus aktif. Kemungkinan lain adalah keberadaan H_2O pada kompleks terhidrat menghalangi interaksi antara ion logam dengan gugus aktif adsorben, sehingga kompleks yang terbentuk relatif sedikit. Hal ini juga didukung oleh sifat kekerasan dan kelunakan asam-basa, ion Cd(II) tergolong asam lunak sedangkan gugus aktif pada adsorben lebih didominasi oleh basa keras seperti gugus $-OH$ an amina [14], sehingga

interaksi asam lunak dan basa keras cenderung kurang disukai, ini sesuai konsep HSAB Pearson [15].

Pada hasil penelitian ini, interaksi antara ion Cd(II) dengan adsorben HAS dan *i*-Cd-HAS yang didominasi oleh mekanisme pembentukan ikatan hidrogen menunjukkan bahwa interaksi Cd(II) dengan adsorben tidak terlalu kuat, sehingga ion Cd(II) yang telah diadsorpsi mudah dilepaskan dan adsorben dapat digunakan lagi dalam adsorpsi berulang.

4 KESIMPULAN

Kontribusi interaksi ion Cd(II) dalam larutan dengan adsorben HAS dan *i*-Cd-HAS yang ditentukan melalui desorpsi sekuensial, didominasi oleh pembentukan ikatan hidrogen. Interaksi melalui pembentukan ikatan hidrogen antara ion Cd(II) dengan adsorben *i*-Cd-HAS tidak terlalu kuat, sehingga ion Cd(II) mudah dilepaskan dan adsorben tersebut dapat digunakan lagi dalam adsorpsi berulang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah memberikan dana, kesempatan dan kepercayaan dalam melaksanakan kegiatan penelitian ini melalui Hibah Doktor dengan No. Kontrak : LPPM-UGM/1216/2009).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shaw, D.J., 1983, *Introduction to colloid and surface chemistry*, 3th edition, Butterworth and Co. Ltd., New York.
- [2] Montazer-Rahmati, M.M., Rabbani, P., Abdolali, A., and Keshtkar, A.R., 2011, Kinetics and equilibrium studies on biosorption of cadmium, lead, and nickel ions from aqueous solution by intact and chemically modified brown algae, *J. Hazard. Mater*, 185: 401-407.
- [3] Bermúdez, Y.G., Rico, I.L.R., Bermúdez, O.G., and Guibal, E., 2011, Nickel biosorption using *Gracilaria Caudata* and *Sargassum Muticum*, *Chem. Eng. J.*, 166: 122-131.
- [4] Chang, X., Jiang, N., Zheng, H., He, Q., Hu, Z., Zhai, Y., and Cui, Y., 2007, Solid-phase extraction of Iron(III) with an ion-imprinted functionalized silica gel sorbent prepared by a surface imprinting technique, *Talanta*, 71 : 38-43.

- [5] Li, F., Jiang, H., and Zhang, S., 2007, An ion-imprinted silica-supported organic-inorganic hybrid sorbent prepared by a surface imprinting technique combined with a polysaccharide incorporated sol-gel process for selective separation of cadmium(II) from aqueous solution, *Talanta*, 71: 1487-1493.
- [6] Zhao, J., Han, B., Zhang, Y., and Wang, D., 2007, Synthesis of Zn(II) ion-imprinted solid-phase extraction materials and its analytical application, *Anal. Chim. Acta*, 603: 87-92.
- [7] Zhai, Y., Liu, Y., Chang, X., Ruan, X., and Liu, J., 2008, Metal ion-small molecule complex imprinted polymer membranes: preparation and separation characteristics, *React. & Funct. Polymers*, 68: 284-291.
- [8] Arbab-Zavar, M.H., Chamsaz, M., Zohuri, G., and Darroudi, A., 2011, Synthesis and characterization of nano-ore thallium (III) ion-imprinted polymer as a new sorbent for separation and preconcentration of thallium, *J. Hazard. Mater*, 185: 38-43.
- [9] Buhani, Narsito, Nuryono dan Kunarti, E.S., 2010, Production of metal ion imprinted polymer from mercapto-silica through sol-gel process as selective adsorbent of cadmium, *Desalination*, 251: 83-89.
- [10] Pérez-Quintanilla, D., Sanchez, A., del Hierro, I., Fajardo, M., and Sierra I., 2007, Preparation, characterization, and Zn^{2+} adsorption behavior of chemically modified MCM-41 with 5-mercapto-1-methyltetrazole, *J. Colloid Interface Sci.*, 313: 551-562.
- [11] Alcantara, E.F.C, Faria, E.A., Rodrigues, D.V., Evangelista, S.M., De Oliveira, E., Zara, L.F., Rabelo, D., and Prado, A.G.S, 2007, Modification of silica gel by attachment of 2-mercaptobenzimidazole for use in removing Hg(II) from aqueous media : A thermodynamic approach, *J. Colloid Interface Sci.*, 311:1-7.
- [12] Jal, P.K., Patel, S., and Mishra, B.K., 2004, Chemical modification of silica surface by immobilization of functional groups for extractive concentration of metal ions, *Talanta*, 62: 1005-1028.
- [13] Martell A.E., and Hancock, R.D., 1996, *Metal Complexes in Aqueous Solution*, Plenum Press, New York.
- [14] Buhani, Narsito, Nuryono and Kunarti, E.S., 2009, Amino and mercapto-silica hybrid for Cd(II) adsorption in aqueous solution, *Indo .J. Chem.*, 9 (2) : 170-176.

- [15] Huheey, J.E., Keiter, E.A., and Keitler, R.L., 1993, *Inorganic chemistry: Principles of structure as and reactivity*, 4th Edition, Harper, Collins Collage Publisher, New York, p:345-347.
- [16] Morel, F.M.M. and Hering, J.G., 1993, *Principles and application of aquatic chemistry*, John Wiley & Sons, Inc., New York, p: 332-342.

BIOSENSOR ANTIOKSIDAN MENGGUNAKAN SUPEROKSIDAN DISMUTASE SECARA ELEKTROKIMIA: PENENTUAN LINIERITAS DAN STABILITAS

Dyah Iswantini^{1*}, Bara Taufan S¹, Novik Nurhidayat², Trivadila¹

1. Departemen Kimia FMIPA IPB, Bogor. Gedung Fapet lantai 4, Jl Agathis, IPB Darmaga, Bogor. E-mail: dyahprado@yahoo.co.id
2. Divisi Mikrobiologi R & D Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bogor

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan penentuan linieritas dan stabilitas biosensor antioksidan secara elektrokimia dengan mengimobilisasi superoksida dismutase (SOD) pada elektroda pasta karbon. Metode biosensor antioksidan berbasis SOD digunakan sebagai metode solusi pengganti metode spektrofotometri yang terkendala dengan tingginya konsentrasi yang diukur dan warna sampel yang dideteksi. Metode elektrokimia menyediakan metode yang sederhana, sensitivitas tinggi, dan biaya rendah. Penelitian ini menggunakan parameter pH dan suhu yang optimum bagi aktivitas SOD murni yang berasal dari eritrosit sapi yang diimobilisasi pada pH 11 dan suhu 20° C. Kondisi optimum untuk aktivitas SOD adalah konsentrasi 10 unit dengan waktu respon 4 detik. Elektrode pasta karbon yang terimobilisasi enzim mencapai kestabilan elektrode hingga 72 jam sebesar 85,68% dan mengalami penurunan kestabilan setelah 72 jam. Hubungan konsentrasi substrat dan aktivitas SOD imobilisasi menghasilkan persamaan garis linear $y = -2,2700 + 13,400x$ pada rentang konsentrasi xantin 0,200–0,275 mM dengan nilai r sebesar 0,9761. Hasil tersebut menunjukkan analisis ini memiliki linearitas yang tinggi dan untuk meningkatkan kestabilan aktivitas enzim diperlukan pendekatan metode dengan parameter analisis yang lain.

Kata kunci: biosensor antioksidan, superoksida dismutase, elektroda pasta karbon, elektrokimia

1 PENDAHULUAN

Pengukuran kapasitas antioksidan dengan metode *in vitro* dan *in vivo* telah banyak diperkenalkan. Kapasitas antioksidan diukur melalui efek antioksidan untuk mengontrol proses oksidasi sehingga pengukuran aktivitas antioksidan perlu diperhatikan sumber radikal bebasnya [1]. Antiradikal bebas (antioksidan) adalah bahan yang dalam kadar rendah dapat mencegah terjadinya oksidasi dari substrat yang mudah teroksidasi. Metode yang umum digunakan untuk mengukur sifat-sifat antioksidan adalah spektrofotometri, fluoresensi, kromatografi gas, kromatografi cairan [2], voltametri siklik, dan biosensor [3]. Metode spektrofotometri memiliki kelemahan, yaitu sulit mengukur pada konsentrasi tinggi.

Pengukuran antioksidan menggunakan metode spektrofotometri seringkali terkendala terhadap preparasi sampel, sebagai contoh metode 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil atau DPPH (*Diphenyl Picril Hydrazil Hydrate*) sangat peka terhadap cahaya sehingga harus dilakukan dalam kondisi gelap dan sangat dipengaruhi oleh tingkat kekeruhan. Metode ABTS atau 2,2-bis-azino (asam 3-etil-benzotiazolina-6-sulfonat) dan FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) juga sangat sensitif terhadap cahaya bahkan pembentukan ABTS memerlukan waktu inkubasi selama 12–16 jam dalam kondisi gelap [4].

Pengukuran kapasitas antioksidan selain terkendala masalah preparasi sampel, juga ada beberapa pengukuran yang memerlukan peralatan yang mahal, seperti Kapasitas Serapan Radikal Oksigen dengan Fluorescen atau ORAC-FL (*Oxygen Radical Absorbance Capacity with Fluorescein*) dan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi atau HPLC (*High Pressure Liquid Chromathography*) [5]. Oleh karena itu dibutuhkan metode yang lebih tepat, cepat, dan sensitif untuk mengukur sifat-sifat antioksidan.

Biosensor elektrokimia merupakan alternatif metode yang dikembangkan untuk mengukur kapasitas antioksidan. Metode ini sangat menjanjikan, karena analisisnya cepat, membutuhkan instrumen yang tidak mahal, protokol operasi yang sederhana, dan biayanya rendah [6]. Metode biosensor berbasis enzim superoksida dismutase (SOD) digunakan untuk menguji aktivitas suatu sampel yang berpotensi sebagai antioksidan telah dilakukan oleh Campanella *et al.* [6]. dan Trivadila [7].

Enzim superoksida dismutase merupakan suatu metaloenzim yang bertindak sebagai intraseluler utama yang melindungi kerusakan sel karena radikal superoksida dengan cara mengkatalisis radikal O_2^- menjadi hidrogen peroksida (H_2O_2) dan oksigen (O_2) berdasarkan reaksi $2O_2^- + 2H^+ \rightarrow O_2 + H_2O_2$ [8]. Pemanfaatan SOD untuk biosensor antioksidan telah banyak dilakukan. Hal ini dikarenakan beberapa kelebihan yang dimiliki oleh SOD, yaitu enzim ini spesifik mengkatalisis radikal superoksida menjadi oksigen dan peroksida [9]. Perkembangan biosensor antioksidan berbasis enzim SOD dengan pengukuran secara elektrokimia hingga saat ini baru pada tahap penelitian dan belum terdapat biosensor antioksidan komersial yang diproduksi. Penelitian oleh Trivadila (2011) telah mendapatkan parameter pH dan suhu yang optimum bagi aktivitas SOD murni yang berasal dari eritrosit sapi yang diimobilisasi pada pH 11 dan suhu 20°C. Namun, penelitian yang telah dilakukan sebelumnya belum menentukan konsentrasi enzim SOD imobilisasi yang optimum sehingga

penelitian ini mengoptimumkan konsentrasi SOD imobilisasi, linearitas pengukuran, dan juga stabilitas elektrode enzim yang dihasilkan.

Penelitian bertujuan mengoptimumkan konsentrasi SOD imobilisasi, menentukan linearitas pengukuran, dan mengukur stabilitas elektrode pasta karbon terimobilisasi SOD yang dihasilkan untuk mengukur aktivitas SOD.

2 METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini meliputi, preparasi elektrode rujukan Ag/AgCl, modifikasi elektrode pasta karbon, imobilisasi enzim SOD pada permukaan elektrode pasta karbon, optimisasi serta stabilitas aktivitas SOD imobilisasi.

Modifikasi Elektrode Pasta Karbon menggunakan Ferosena sebagai Mediator [10] [11].

Sebanyak 1 mL DMSO digunakan untuk melarutkan 3 mg ferosena (mediator) dan campuran ditambahkan 100 mg grafit kemudian didiamkan selama 2 jam. Setelah 2 jam didiamkan, pelarut diuapkan menggunakan pengering vakum sehingga diperoleh grafit termodifikasi mediator. Grafit termodifikasi kemudian dicampur dengan parafin cair sampai membentuk pasta dengan perbandingan campuran 100 mg grafit termodifikasi dan 35 μ L parafin cair.

Imobilisasi Enzim SOD pada Permukaan Elektrode Pasta Karbon Termodifikasi [11]

Larutan SOD sebanyak 5 μ L diteteskan pada permukaan elektrode pasta karbon kemudian didiamkan agar pelarutnya menguap. Selanjutnya permukaan elektrode dilapisi dengan membran dialisis, ditutup dengan jaring nilon dan diikat dengan parafilm.

Pengukuran Elektrokimia

Pengukuran elektrokimia metode voltametri siklik dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat potensiostat/galvanostat eDAQ dan komputer beserta perangkat lunak pengolah data *Echem* v2.1.0. Elektrode yang digunakan, yaitu elektrode Ag/AgCl, platina, dan elektrode pasta karbon-enzim berturut-turut sebagai elektrode rujukan, *counter*, dan kerja

Stabilitas Elektrode

Stabilitas elektrode ditentukan dari pengukuran aktivitas enzim SOD setelah didapatkan kondisi optimum aktivitas SOD secara langsung melalui pengukuran arus yang didapat.

Pengoptimuman Konsentrasi SOD

Optimisasi yang dilakukan untuk aktivitas SOD murni adalah optimasi konsentrasi SOD pada pH dan suhu optimum (pH 11 dan suhu 20 °C).

Pengukuran aktivitas SOD secara Elektrokimia

Uji aktivitas dilakukan dengan variasi rentang konsentrasi substrat xantina 0,200–0,325 mM (interval 0,05 mM) pada prosedur elektrokimia sebelumnya sehingga adanya hubungan linear digunakan koefisien korelasi (r) pada analisis regresi linear ($y = a + bx$). Linearitas dilakukan dengan variasi rentang konsentrasi substrat xantina 0,200–0,275 mM (interval 0,05 mM) pada prosedur pengukuran elektrokimia di atas, kemudian dibuat kurva hubungan antara konsentrasi substrat xantina dengan aktivitas SOD murni.

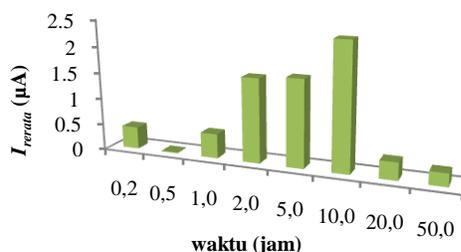
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengoptimuman Aktivitas SOD Terimobilisasi

. Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi SOD, semakin besar kenaikan arus dan aktivitas maksimum yang dihasilkan, serta semakin cepat waktu yang dibutuhkan arus untuk mencapai maksimum. Hasil pengamatan aktivitas konsentrasi SOD dibawah 10 unit menunjukkan arus belum mencapai maksimum.

Berdasarkan hasil pengukuran, arus konsentrasi SOD pada 0,2 dan 0,5 unit memiliki koefisien variasi (KV) dan arus rerata (I_{rerata}) negatif setiap ulangan pengukuran. Artinya pada 0,2 dan 0,5 unit aktivitasnya tidak ada atau sangat kecil. I_{rerata} terbesar dihasilkan ketika konsentrasi SOD 10 unit, yaitu sebesar 2,3710 μA . Jadi dapat disimpulkan bahwa konsentrasi SOD yang optimum sebesar 10,0 unit. Konsentrasi SOD yang lebih besar dari 10,0 unit mengalami penurunan aktivitas. Arus puncak oksidasi tertinggi dihasilkan dalam waktu respon 4 detik. Waktu respon ini lebih baik dari waktu respon rata-rata pada biosensor urea

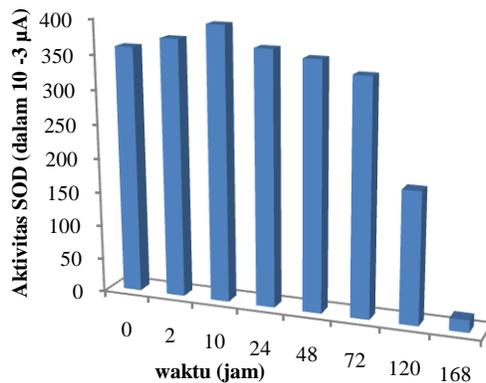
berbasis membran khitin, yakni 3-6 menit [12] sedangkan biosensor elektrokimia untuk deteksi urutan DNA tanpa indikator hibridisasi waktu responnya sebesar 20 menit agar diperoleh deteksi pada DNA target [13].



Gambar 1. Data optimisasi SOD dengan konsentrasi xantin 2,1 mM.

Stabilitas elektrode

Stabilitas elektrode ditentukan dari pengukuran aktivitas enzim SOD setelah didapatkan kondisi optimum aktivitas SOD secara langsung melalui pengukuran arus yang didapat. Stabilitas elektrode digambarkan sebagai hubungan waktu dan arus, ditunjukkan dalam Gambar 2. Arus puncak oksidasi pada saat pengukuran awal (waktu untuk jam ke-0) dikondisikan 100%. Kestabilan elektrode untuk 72 jam sebesar 85,68% dan semakin menurun sampai 4,52% untuk 168 jam. Pengukuran dilakukan sebanyak 6 ulangan pada hari yang sama (*intraday*) dan pada hari yang berlainan (*interday*) selama 5 hari berturut-turut. Arus meningkat secara signifikan, yaitu sebesar lebih kurang 0,398 μA dan mencapai puncak dalam waktu 10 jam dan cenderung turun hingga mencapai waktu 168 jam. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kondisi stabil elektrode dari pengukuran SOD setelah 72 jam inkubasi pada elektrode pasta karbon dengan enzim SOD imobilisasi karena aktivitas SOD (dalam 10^{-3} μA) dari 0 jam sampai dengan 72 jam tidak berbeda secara signifikan namun aktivitas SOD turun secara drastis setelah 72 jam.

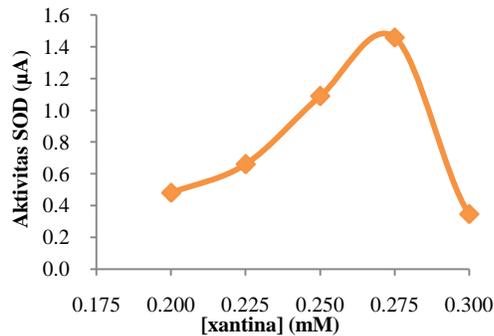


Gambar 2 Kurva stabilitas antara waktu terhadap aktivitas SOD.

Aktivitas SOD Imobilisasi

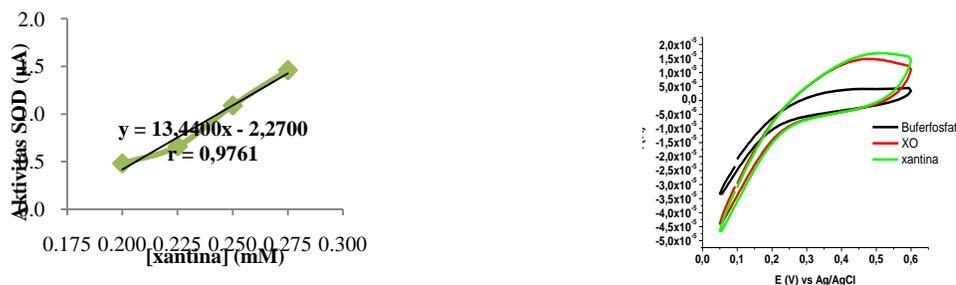
Setelah diperoleh kondisi optimum, elektrode pasta karbon-SOD digunakan untuk mengukur aktivitas SOD imobilisasi dengan variasi substrat xantina, sehingga diperoleh hubungan antara konsentrasi substrat dengan aktivitas SOD Gambar 3. Konsentrasi xantin yang digunakan, yaitu antara 0,200–0,325 mM.

Hubungan linear diperoleh ketika konsentrasi xantin 0,200–0,275 mM (Gambar 4). Kurva yang dihasilkan memiliki persamaan garis $y = -2,2700 + 13,400x$ dan $R^2 = 95,28\%$. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh koefisien regresi untuk linearitas sebesar 0,9761. Menurut ICH, nilai ini hampir memenuhi syarat yang ditetapkan, yaitu 0,9970. Nilai koefisien yang tinggi menyatakan bahwa kenaikan konsentrasi, akan memberikan kenaikan arus yang sebanding. Semakin besar konsentrasi xantina maka aktivitas SOD semakin tinggi pada rentang konsentrasi xantina 0,200–0,275 Mm, sedangkan konsentrasi xantina lebih dari 0,275 mM mengalami penurunan aktivitas SOD.



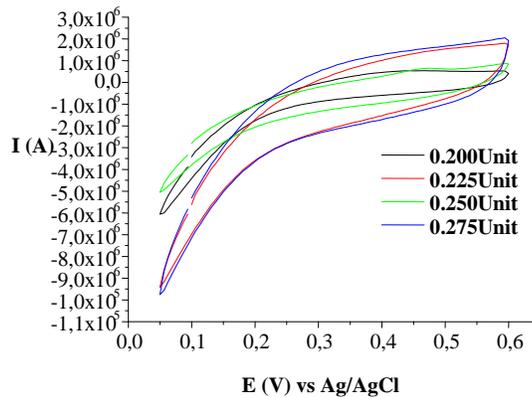
Gambar 3. Kurva hubungan antara konsentrasi substrat dengan aktivitas SOD.

Hubungan linear diperoleh ketika konsentrasi xantina 0,200–0,275 mM (Gambar 4). Kurva yang dihasilkan memiliki persamaan garis $y = -2,2700 + 13,400x$ dan $R^2 = 95,28\%$. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh koefisien regresi untuk linearitas sebesar 0,9761. Menurut ICH, nilai ini hampir memenuhi syarat yang ditetapkan, yaitu 0,9970. Nilai koefisien yang tinggi menyatakan bahwa kenaikan konsentrasi, akan memberikan kenaikan arus yang sebanding. Semakin besar konsentrasi xantina maka aktivitas SOD semakin tinggi pada rentang konsentrasi xantina 0,200–0,275 Mm, sedangkan konsentrasi xantina lebih dari 0,275 mM mengalami penurunan aktivitas SOD.



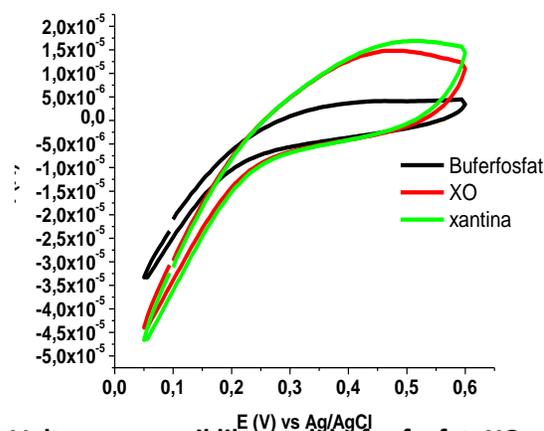
Gambar 4. Kurva Linearitas konsentrasi xantina (0,200; 0,225, 0,250; dan 0,275 mM).

Linearitas dinyatakan dengan koefisien korelasi (r). Nilai koefisien korelasi yang tinggi menunjukkan hubungan yang linear antara konsentrasi xantin dengan aktivitas SOD. Gambar 6 menyajikan voltamogram siklik pada konsentrasi persamaan linearitas tersebut.



Gambar 5. Voltamogram linearitas pada konsentrasi xantina 0,200; 0,225, 0,250, dan 0,275 mM.

Linearitas juga dapat diketahui dari kemiringan garis, intersep, dan residual (Ermer & Miller 2005). Berdasarkan hasil pengujian didapat persamaan regresi linear untuk kurva garis $y = -2,2700 + 13,400x$. Berdasarkan persamaan tersebut didapat nilai intersep (a) sebesar -2,2700. Nilai intersep yang semakin jauh dari nol disebabkan oleh semakin besarnya pengaruh matriks dalam substrat. Hal ini dapat mengganggu penentuan aktivitas SOD dalam variasi konsentrasi xantin sebagai substrat.



Gambar 6. Voltamogram siklik untuk bufer fosfat, XO, dan xantin.

Konsentrasi xantin yang digunakan pada kurva linearitas sebesar 0,200; 0,225, 0,250; dan 0,275 mM. Kisaran linear yang diperoleh dalam penelitian ini lebih kecil dibandingkan dengan penelitian Trivadila (2011), dalam teknik imobilisasi yang sama, hasil kisaran yang diperoleh lebih besar, yaitu 0,1–0,7 mM. Menurut Campanella *et al.* [14], persamaan kurva

linear $y = (328,9 \pm 6,4)x - (2,3 \pm 1,3)$ dengan koefisien korelasi 0,9761 dengan kisaran variasi rentang konsentrasi substrat xantina 0,02–2,00 mM. Artinya hasil pada penelitian ini memiliki koefisien korelasi yang lebih sempit dengan hasil pada Campanella *et al.* sehingga pada penelitian ini dapat dikatakan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O'Brien KB, Killoran SJ, O'Neill RD, Lowrya JP. 2007. Development and characterization *in vitro* of a catalase-based biosensor for hydrogen peroxide monitoring. *Biosensors and Bioelectronics* 22: 2994–3000.
- [2] Prieto-Simon B, Cortina M, Campas M, Calas-Blanchard C. 2008. Electrochemical biosensor as a tool for antioxidant capacity assessment. *Sens Actuators B* 129: 459–466.
- [3] Campanella L, Bonanni A, Finotti E, Tomassetti M. 2004. Biosensors for determination of total and natural antioxidant capacity of red and white wines: comparison with other spectrophotometric and fluorimetric methods. *Biosensors and Bioelectronics* 19: 641–651.
- [4] Tawaha K, Alali FQ, Gharaibeth M, Mohammad M, El-Elimat T. 2007. Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. *J. Foodchem* 104: 1372–1378.
- [5] Du G, Li M, Ma F, Liang D. 2009. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and Vitamin C in Actinidia fruits. *J. Foodchem* 113: 557–562.
- [6] Campanella L, Bonanni A, Finotti E, Tomassetti M. 2004. Biosensors for determination of total and natural antioxidant capacity of red and white wines: comparison with other spectrophotometric and fluorimetric methods. *Biosensors and Bioelectronics* 19: 641–651.
- [7] Trivadila. 2011. Biosensor antioksidan menggunakan superoksida dismutase *Deinococcus radiodurans* yang diimobilisasi pada permukaan elektrode pasta karbon

- dan parameter kinetikanya. [Tesis]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [8] Kankofer M. 2002. Superoxide dismutase and glutathione peroxidase activities in bovine placenta: spectrophotometric and electrophoretic analysis. *Revue Med Vet* 153: 121–124.
- [9] Donnelly JK, Mc Lellan KM, Walker JL, Robinson DS. 1989. *Superoxide Dismutase in Foods. A Review. J Food Chem.* 33: 243-270.
- [10] Campanella L, Favero G, Tomasetti M. 1997. A modified amperometric electrode for the determination of free radical. *Sens. Actators B* 44:559–565.
- [11] Ikeda *et al.* 1998. Electrochemical monitoring of *in vivo* reconstitution of glucose dehydrogenase in *Escherichia coli* cells with externally added pyrroloquinoline quinone. *J. Electroanal. Chem* 449: 219–224.
- [12] Nazaruddin. 2007. Biosensor Urea Berbasis Biopolimer Khitin sebagai Matriks Immobilisasi. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* 6: 41–44.
- [13] Hartati YW, Rochani S, Bahti HH, Agma M. 2007. Elektrokimia untuk Deteksi Urutan DNA Tanpa Indikator Hibridisasi. [Seminar]. Bandung: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran.
- [14] Campanella L, Favero G, Persi L, Tomassetti M. 2000. Evaluation of radical scavenging properties of several plants, fresh or from a herbalist's, using a superoxide dismutase biosensor. *Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 24: 1055–1064.

KINETIKA ADSORPSI ION Ce^{3+} DENGAN MIKROKAPSUL KALSIMUM ALGINAT BERISI 1-FENIL-3-METIL-4-BENZOIL-5-PIRAZOLON (HPMBP)

Rusnadi ^{1*}, Buchari ², M. Bachri Amran ³

Kelompok Keilmuan (KK) Kimia Analitik FMIPA ITB, Bandung^{1*}
rusnadi@chem.itb.ac.id

Kelompok Keilmuan (KK) Kimia Analitik FMIPA ITB, Bandung²

Kelompok Keilmuan (KK) Kimia Analitik FMIPA ITB, Bandung³

ABSTRAK

Teknik-teknik ekstraksi, prakonsentrasi serta upaya memperoleh kembali LTJ sangat penting selain karena ketersediaan LTJ yang sangat terbatas, di dalamnya juga terdapat isu lingkungan. Adsorpsi sering digunakan karena pengoperasiannya yang mudah, memiliki kinerja yang baik serta relatif murah. Mikrokapsul kalsium alginat berisi ligan HPMBP (CAHP) telah digunakan untuk mengadsorpsi ion Ce^{3+} dengan metode *batch*. Ligan disintesis dengan mereaksikan 1-fenil-3-metil-5-pirazolon dengan benzoil klorida. Hasil-hasil karakterisasi berdasarkan titik leleh, FTIR, serta spektrum 1H and ^{13}C NMR. menunjukkan bahwa kedua ligan telah berhasil disintesis. Pembuatan mikrokapsul dilakukan dengan mendispersikan ligan secara homogen dalam larutan natrium alginat, kemudian diteteskan perlahan ke dalam larutan $CaCl_2$ sehingga terjadi pembentukan gel yang menghasilkan mikrokapsul CAHP. Mikrokapsul kering berbentuk sferik dengan diameter rata-rata 1 mm. Gambaran SEM menunjukkan permukaan mikrokapsul mengandung pori-pori serta sejumlah rekahan. Analisis TGA menunjukkan mikrokapsul CAHP dapat digunakan hingga pada suhu dibawah $92^{\circ}C$. Studi pengaruh waktu adsorpsi menunjukkan bahwa dengan meningkatnya waktu semakin meningkatkan jumlah ion logam yang teradsorpsi hingga mencapai kondisi kesetimbangan setelah 20 jam. Kinetika reaksi orde pseudo-satu Lagergren dan reaksi orde pseudo-dua digunakan untuk mempelajari kinetika reaksi proses adsorpsi LTJ oleh mikrokapsul. Berdasarkan nilai koefisien korelasi, maka kinetika reaksi adsorpsi ion LTJ oleh mikrokapsul mengikuti kinetika reaksi orde pseudo-dua.

Kata kunci: mikrokapsul, adsorpsi, logam tanah jarang (LTJ), alginat, pirazolon

1 PENDAHULUAN

Logam tanah jarang (selanjutnya disingkat dengan LTJ) merupakan kelompok unsur yang terdiri dari skandium, itrium serta unsur-unsur yang termasuk ke dalam golongan lantanida. Kebutuhan dunia terhadap logam tanah jarang (LTJ) semakin meningkat dari tahun ke tahun. Beberapa industri pengguna LTJ diantaranya industri laser, komputer, baterai, keramik, elektronik, optoelektronik, superkonduktor, supermagnet, dan material gelas [1]. Lantanum digunakan sebagai reagen dalam lampu fluoresensi, filter sinar-X, serat optik, kapasitor keramik, sebagai katalis pada reaksi polimerisasi dan katalis pada reaksi dalam

pengendali gas buang kendaraan bermotor. Cerium digunakan sebagai bahan pemantik api, pewarna gelas, katalis pada kontrol gas buang kendaraan bermotor, pewarna keramik dan cat. Gadolinium digunakan sebagai filter sinar-X [2].

Penggunaan LTJ dalam jumlah banyak di berbagai kegiatan industri telah meningkatkan kebutuhan dunia terhadapnya serta memperbanyak ion-ion LTJ yang mencemari kawasan perairan. Teknik-teknik ekstraksi, *preconcentration* dan *recovery* LTJ menjadi topik yang sangat penting selain karena ketersediaan LTJ yang sangat terbatas, di dalamnya juga terdapat isu lingkungan. Jumlah LTJ yang memasuki lingkungan melalui berbagai cara pencemaran diperkirakan akan semakin banyak sehingga menyebabkan permasalahan lingkungan dalam kurun waktu beberapa dekade ke depan.

Enkapsulasi merupakan teknik imobilisasi suatu bahan aktif dalam material pendukung melalui pembentukan suatu kerangka tertentu yang secara sedemikian rupa memerangkap bahan aktif tersebut di dalamnya [3]. Salah satu media pendukung yang dapat digunakan untuk keperluan ini adalah garam kalsium alginat. Alginat merupakan polisakarida alami yang diekstrak dari berbagai spesies alga coklat. Gugus karboksilat yang terdapat dalam alginat memungkinkan terjadinya transisi sol-gel dengan keberadaan ion kalsium.

Kemampuan alginat untuk membentuk mikrokapsul telah banyak digunakan untuk enkapsulasi suatu ekstrak organik. Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa mikrokapsul yang berisi bahan aktif memiliki kinerja yang baik dalam adsorpsi ion logam [4,5,6,7]. Penggunaan mikrokapsul memiliki sejumlah keunggulan seperti mudah memisahkan cairan dan padatan dengan penyaringan maupun teknik sederhana lainnya, kemampuan pemekatan ion logam dari larutan yang lebih encer dan minimalisasi bahan berbahaya bagi lingkungan [8]. Selain itu, penggunaan biopolimer untuk enkapsulasi memiliki sejumlah keunggulan seperti teknik pengerjaan yang sederhana, porositas yang tinggi, kandungan komponen aktif yang tinggi, serta memiliki kekuatan mekanik yang baik [9]. Jaring-jaring dalam gel yang dibentuk oleh polimer dapat meningkatkan viskositas serta mencegah keluarnya ligan dari dalam mikrokapsul. Penempatan ligan dengan cara enkapsulasi juga menghasilkan volume ligan efektif yang lebih besar dalam proses ekstraksi.

Pada penelitian ini telah disintesis suatu adsorben baru dengan cara mengenkapsulasi senyawa golongan 4-asil-5-pirazolon, yaitu 1-fenil-3-metil-4-benzoil-5-pirazolon (HPMBP)

dalam gel kalsium alginat sehingga diperoleh mikrokapsul kalsium alginat berisi ligan HPMBP (CAHP). Ligan HPMBP telah banyak digunakan dalam keperluan ekstraksi pelarut untuk berbagai ion logam, termasuk ion logam tanah jarang [10,11,12]. Laporan penelitian mengenai teknik enkapsulasi pirazolon dalam garam alginat serta penggunaannya untuk keperluan ekstraksi logam tanah jarang sampai saat ini belum diketahui atau belum pernah dilakukan. Dalam penelitian ini, mikrokapsul CAHP digunakan sebagai adsorben untuk adsorpsi ion Ce^{3+} yang merupakan LTJ yang paling banyak frekuensi penggunaannya serta memiliki kelimpahan di alam yang sangat besar.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Sintesis Ligan HPMBP

Sintesis ligan dilakukan berdasarkan metode Jensen [13]. Sebanyak 15,00 gram 1-fenil-3-metil-5-pirazolon (PMP) ditempatkan dalam labu leher tiga berisi 70 mL 1,4-dioksan bersuhu 50°C dan dibiarkan selama 20 menit. Ke dalam campuran tersebut ditambahkan 12,78 gram $Ca(OH)_2$ kemudian didiamkan selama 10 menit. Benzoil klorida sebanyak 10 mL kemudian dimasukkan ke dalam campuran tetes demi tetes, dan setelah seluruhnya dimasukkan ke dalam labu leher tiga, ditambahkan kembali 30 mL 1,4-dioksan. Suhu kemudian ditingkatkan hingga mencapai 110 °C, kemudian campuran didiamkan pada suhu tersebut selama 2,5 jam. Selama proses tersebut campuran dalam labu leher tiga diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet. Campuran kemudian didinginkan hingga mencapai suhu kamar, lalu ditambahkan ke dalamnya 200 mL larutan HCl 2 M dan labu beserta isinya dikocok kuat-kuat hingga diperoleh padatan berwarna coklat. Padatan kemudian disaring, dicuci dengan aqua dm hingga pH menjadi netral, kemudian direkristalisasi dengan campuran etanol-air.

2.2 Sintesis Mikrokapsul CAHP

Sintesis mikrokapsul dilakukan dengan mengalirkan tetes demi tetes larutan natrium alginat yang telah berisi ligan terdispersi ke dalam larutan Ca^{2+} . Larutan Ca^{2+} dibuat dengan melarutkan 2,00 gram $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ dalam 100 mL aqua dm. Larutan natrium alginat dibuat dengan melarutkan 2 gram natrium alginat dalam 100 mL aqua dm bersuhu 60°C. Mikrokapsul berisi ligan HPMBP atau H_2SbBP dibuat dengan mencampurkan 2 gram ligan

ke dalam larutan natrium alginat kemudian diaduk hingga homogen. Ligan yang telah terdispersi dalam natrium alginat dialirkan menggunakan pompa peristaltik ke dalam larutan Ca^{2+} . Setelah butiran mikrokapsul terbentuk kemudian didiamkan selama 1x24 jam sambil diaduk menggunakan pengaduk magnetik dengan kecepatan rendah. Mikrokapsul yang diperoleh selanjutnya disaring, dicuci beberapa kali dengan menggunakan aqua dm, kemudian dikeringkan pada suhu ruang yang dilanjutkan pengeringan menggunakan *hot plate* pada suhu 60°C selama 6 jam. Mikrokapsul yang telah kering kemudian dikarakterisasi yang meliputi morfologi berdasarkan analisis SEM dan analisis termal dengan TGA/DSC.

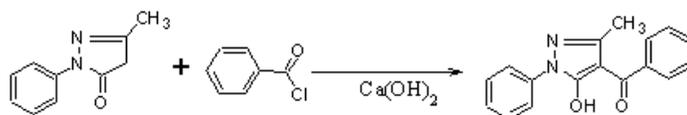
2.2 Studi Kinetika Adsorpsi ion Ce^{3+} Menggunakan Mikrokapsul CAHP

Mikrokapsul CAHP digunakan sebagai adsorben untuk ion Ce^{3+} dalam media asam nitrat dengan metode unggun (*batch*). Fasa air merupakan larutan ion LTJ 100 mg/L sebanyak 20 mL. Laju proses adsorpsi dipelajari dengan memvariasikan waktu pengadukan 50 mg mikrokapsul dalam larutan ion LTJ 100 ppm pada kondisi pH 4,0.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sintesis Ligan HPMBP

Ligan 1-fenil-3-metil-4-benzoil-5-pirazolon (HPMBP) diperoleh sebagai serbuk berwarna kuning sebanyak 10,4352 gram, yang merupakan bentuk enol senyawa tersebut. Reaksi sintesis HPMBP dapat dituliskan sebagai Gambar 1. Rendemen hasil HPMBP dari sintesis adalah 43,56 %. Senyawa yang diperoleh memiliki titik leleh 92°C . Senyawa HPMBP dapat berada sebagai bentuk senyawa keto maupun enol [14].



Gambar 1. Persamaan reaksi sintesis ligan HPMBP

Elusidasi struktur HPMBP berdasarkan spektrum IR, ^1H NMR dan ^{13}C NMR menunjukkan bahwa sintesis HPMBP berhasil dilakukan. Pada spektrum IR terdapat vibrasi khas untuk gugus C-H aromatik, C=C fenil, cincin pirazolon, $-\text{CH}_3$, C=O, C-N, dan daerah

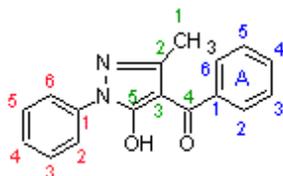
sidik jari untuk cincin khelat. Identifikasi lengkap gugus-gugus fungsi spektrum IR HPMBP ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi gugus-gugus fungsi pada spektrum IR HPMBP

Bil. Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus fungsi	Jenis vibrasi
3053,32	C-H aromatik	Stretching
1598,99	C=C fenil	Stretching
1560,41	Cincin pirazolon	-
1413,82	CH ₃	Stretching
1379,10	C=O	Stretching
1192,01	C-N	Stretching
640,37	Cincin khelat	-

Spektrum ¹H NMR menunjukkan adanya sinyal yang bersifat seperti bayangan satu sama lain yang berasal dari dua gugus fenil yang simetris satu sama lain, serta sebuah sinyal singlet yang berasal dari gugus metil. Spektrum ¹³C NMR menunjukkan terdapatnya sinyal untuk atom C keton, C metil, serta C aromatik.

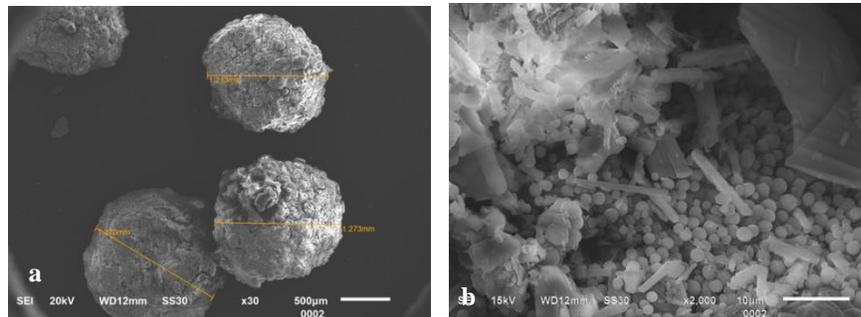
Tabel 2. Interpretasi sinyal spektrum ¹H NMR dan ¹³C NMR HPMBP



¹ H NMR		¹³ C NMR	
No. Atom C	δ _H , multiplisitas, integrasi	No. Atom C	δ _C
1	2,10 ppm, s, 3H	1	16,02 ppm
4	7,29-7,32 ppm, t, 1H	2	161,63 ppm
3,5	7,45-7,47 ppm, t, 2H	3	103,76 ppm
3,5 (A)	7,48-7,53 ppm, t, 2H	4	192,25 ppm
4 (A)	7,57-7,60 ppm, t, 1H	5	148,15 ppm
2,6	7,63-7,65 ppm, d, 2H	C1-C6, C1-C6 (A)	120,97-133,71 ppm
2,6 (A)	7,86-7,88 ppm, d, 2H		

Mikrokapsul kalsium alginat berisi ligan HPMBP (CAHP) berupa butiran berwarna kuning. Mikrokapsul basah memiliki diameter sekitar 2-3 mm dan setelah kering mikrokapsul menjadi berdiameter 1 mm. Pengamatan morfologi dengan menggunakan SEM menunjukkan mikrokapsul CAHP memiliki bentuk sferik dengan kontur kasar dan

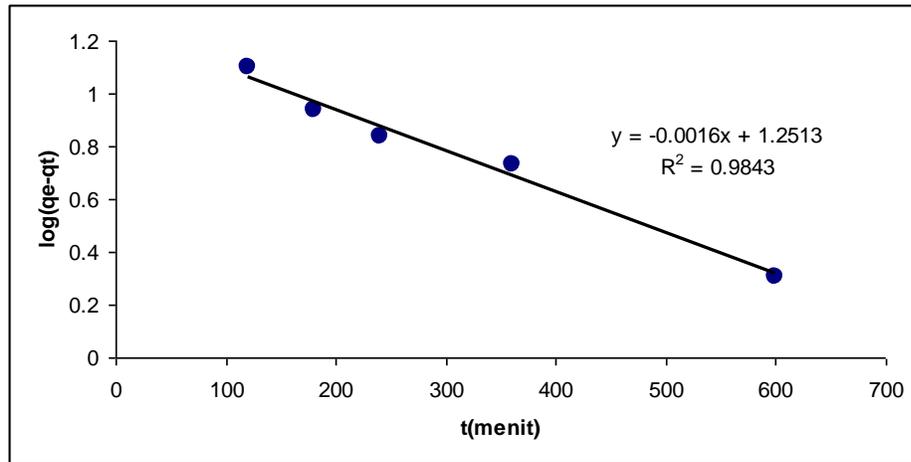
bergelombang. Hasil SEM bagian penampang permukaan mikrokapsul menunjukkan terdapatnya pori-pori di sekitar permukaan mikrokapsul, serta pola distribusi ligan yang didispersi dalam mikrokapsul yang menunjukkan terdapatnya butiran-butiran HPMBP, sejumlah rongga dan retakan-retakan. Hasil SEM selengkapnya terdapat pada Gambar 2.



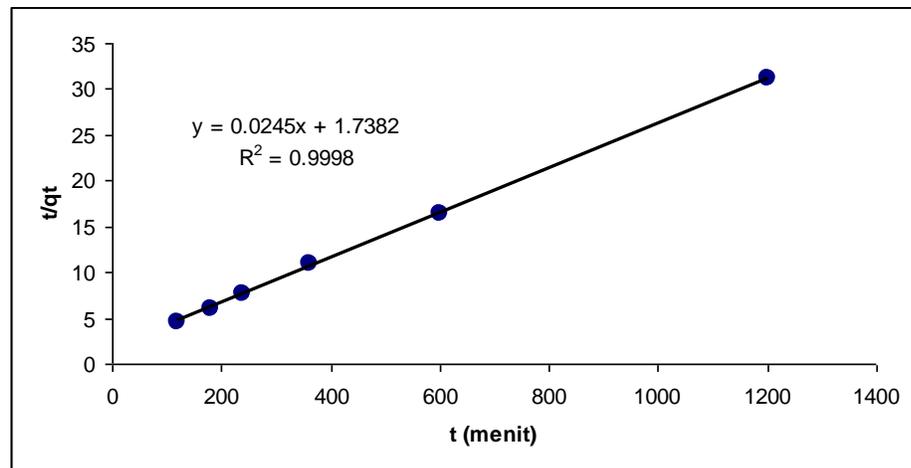
Gambar 2 Hasil SEM : mikrokapsul kering berbentuk sferik (a) dan struktur permukaan mikrokapsul kering (b)

Persentase adsorpsi ion Ce^{3+} dan ion Gd^{3+} semakin meningkat dengan bertambahnya waktu. Persen adsorpsi meningkat dengan cepat pada saat-saat awal pengadukan dan setelah 2 jam mencapai lebih dari 60%, kemudian masih meningkat hingga mencapai kondisi kesetimbangan pada waktu kontak mencapai 20 jam. Setelah 20 jam, tidak lagi teramati peningkatan persen adsorpsi ion LTJ oleh mikrokapsul. Laju adsorpsi yang cepat pada saat awal pengadukan disebabkan karena pada permulaan terjadi kontak antara ion LTJ dengan mikrokapsul, masih terdapat banyak sekali sisi-sisi aktif dalam mikrokapsul yang tersedia untuk adsorpsi ion LTJ. Seiring dengan bertambahnya waktu, semakin banyak sisi-sisi aktif tersebut yang telah diisi oleh ion LTJ sehingga laju adsorpsi menurun yang kemungkinan disebabkan oleh terjadinya tolakan antara ion-ion logam yang terdapat dalam fasa air dengan ion yang berada di permukaan mikrokapsul.

Kinetika adsorpsi ion Ce(III) ke dalam mikrokapsul dipelajari dengan menggunakan model kinetika reaksi orde pseudo-satu lagergren dan reaksi orde pseudo-dua seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Kurva reaksi orde pseudo-satu Lagergren adsorpsi ion Ce^{3+} pada mikrokapsul CAHP



Gambar 4. Kurva reaksi orde pseudo-dua adsorpsi ion Ce^{3+} pada mikrokapsul CAHP

Berdasarkan nilai koefisien korelasi yang lebih tinggi, maka kinetika reaksi adsorpsi Ce^{3+} mengikuti model kinetika reaksi orde pseudo-dua. Adsorpsi yang mengikuti persamaan reaksi orde pseudo-dua berlangsung dengan mekanisme khemisorpsi [15].

4 KESIMPULAN

Mikrokapsul kalsium alginat berisi ligan HPMBP (CAHP) merupakan adsorben baru untuk untuk mengadsorpsi ion Ce^{3+} Mikrokapsul kering berbentuk sferik dengan diameter rata-rata 1 mm dengan permukaan mikrokapsul mengandung pori-pori serta sejumlah

rekahan. Berdasarkan nilai koefisien korelasi, maka kinetika reaksi adsorpsi ion LTJ oleh mikrokapsul mengikuti kinetika reaksi orde pseudo-dua.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haxel,G.B., Hedrick, J.B., Orris, G.J., (2002) : Rare Earth Elements—Critical Resources for High Technology <http://geopubs.wr.usgs.gov/fact-sheet/fs087-02/Download> (diturunkan/diunduh) pada 10 Juni 2011
- [2] Kilbourn, B.T., (1993), A Lanthanide Lanthology, 1-66. http://www.phy.davidson.edu/fachome/dmb/RESolGelGlass/Lanthology/Lanthology_M-Z.pdf Download (diturunkan/diunduh) pada 12 Mei 2012
- [3] Lim.L., dan Wan. L., (1997): Propanolol hydrochloride binding in calcium alginate beads, *Drug Development in Industrial Pharmacy*, **23**, 973-980.
- [4] Watari, H.; dan Hatakeyama, S., (1991): Extraction of Copper(II) into microcapsules containing 5-Nonyl Salicylaldoxime. *Analytical Science*, **7**, 487-492.
- [5] Yoshizawa, H., Uemura, Y., Kawano, Y., dan Hatate, Y., (1992): Preparation and extraction properties of microcapsules containing tri-n-octyl amine as core material, *Journal of Chemical Engineering*, **26(2)**, 198-202
- [6] Nishihama, S., Sakaguchi, N., Hirai, T., dan Komasaawa, I., (2002): Extraction and separation of the rare earth metals using microcapsules containing bis(2-ethylhexyl) phosphinic acid, *Hydrometallurgy*, **64**, 35-40.
- [7] Mimura, H., dan Ohta, H., (2002): Uptake and recovery of platinum group metals ions by alginate microcapsules immobilizing cyanex 302 emulsions. *Journal of Nuclear Science and Technology*, **39**, 1008-1013.
- [8] Ibanez, J.P., dan Umetsu, Y., (2002) : Potential of protonated alginate beads for heavy metals uptake, *Hydrometallurgy*, **64**, 89–99
- [9] Outokesh, M., Mimura, H., Niibori, Y., dan Ahmadi S.J., (2008): Comparison of the Batch and Breakthrough Properties of Stable and Plain Alginate Microcapsules with a Chelating Resin and an Ion Exchanger in Ag⁺ Adsorption, *Indian Engineering and Chemical Research*, **47**, 6742–6752

- [10] Dukov, I.L., dan Jordanov, V.M., (1998): Synergistic Solvent Extraction of Lanthanides With Mixtures of 1-phenyl-3-methyl-4-benzoyl-5-pyrazolone and Primary Ammonium Salts, *Hydrometallurgy*, **48**, 145-151
- [11] Jordanov, V.M., Atanassova, M., dan Dukov, I.L., (2002) : Solvent extraction of lanthanides with 1-phenyl-3-methyl-4-benzoyl-5-pyrazolone, *Separation Science and Technology*, **37(14)**, 3349-3356
- [12] Atanassova, M., dan Dukov, I.L., (2009) : A Comparative study of the solvent extraction of the trivalent elements of the lanthanoid series with thenoyltrifluoroacetone and 4-benzoyl-3-methyl-1-phenyl-2-pyrazolin-5-one using diphenylsulfoxide as synergistic agent, *Jurnal of Solution Chemistry*, **38**, 289-301
- [13] Okafor, E.C., dan Ozoukwu, B.A., (1991) : Introducing a new bis(β -diketone): Syntheses, UV-Visible, IR, ^1H and ^{13}C NMR spectral studies of 4-sebacoyl-bis(1-phenyl-3-methyl-pyrazolone-5)(H_2PMSP) and its, U(VI), Fe(III) and Ca(II) complexes, *Synthetic and Reactivity Inorganic and Metalorganic Chemistry*, **21(5)**, 825-844
- [14] Akama, Y., dan Tong, A., (1996) : Spectroscopic Studies of the Keto and Enol Tautomers of 1-Phenyl-3-Methyl-4-Benzoyl-5-Pyrazolone, *Microchemical Journal*, **53**, 34-41
- [15] Ho, Y.S., dan McKay, G., (1999): Pseudo-second order model for sorption process, *Process Biochemistry*, **34**, 451-465

**PENGARUH PEMBERIAN SENYAWA ANTIFERTILITAS C30 STEROL
YANG DIISOLASI DARI DAUN *CLERODENDRON SERRATUM* TERHADAP
VIABILITAS SEL MURINE RAW 265.7**

Euis Julaeha¹⁾, Desak Made Malini²⁾, Ajeng Diantini³⁾

¹⁾Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jatinangor 45643, Sumedang. euis_julaeha@yahoo.com.

²⁾Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jatinangor 45643, Sumedang.

³⁾Fakultas Farmasi, Universitas Padjadjaran, Jatinangor 45643, Sumedang.

ABSTRAK

Daun senggugu (*Clerodendron serratum*) mengandung senyawa antifertilitas yang dapat menurunkan kualitas spermatozoa tikus putih (*Rattus novergicus*), senyawa yang paling aktif diketahui dari kelompok fitosterol yaitu C30 sterol. Untuk mengetahui keamanan senyawa tersebut sebelum digunakan sebagai bahan obat maka akan dilihat pengaruhnya terhadap viabilitas sel. Senyawa C30 sterol pertama-tama diisolasi dari bagian daun *C. serratum*, diuji aktivitasnya terhadap spermatozoa *R. novergicus* secara *in vitro* kemudian diujikan terhadap viabilitas sel murine RAW 265.7 dengan MTT assay. Hasil uji aktivitas menunjukkan bahwa pada konsentrasi 12,5 ng/ μ L, senyawa tersebut dapat menurunkan viabilitas dan motilitas, serta menaikkan abnormalitas spermatozoa, berturut-turut sebesar 464%, 104% , dan 247%. Sedangkan hasil pengamatan MTT assay menunjukkan sampai konsentrasi 50 μ M viabilitas sel murine hanya menurun 10%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa senyawa C30 sterol tidak menunjukkan sitotoksin.

Kata kunci : senggugu, *Clerodendron serratum*, antifertilitas, sel murine, *Rattus novergicus*

1 PENDAHULUAN

Clerodendron serratum merupakan salah satu tumbuhan obat dari famili Verbenaceae. Aktivitas biologi yang telah diketahui dari tumbuhan ini adalah sebagai antihistamin⁽¹⁾; saponin yang diisolasi dari *C. serratum* mempunyai efek pada sel-sel mesenterium tikus⁽²⁾; ekstrak bageian akarnya mempunyai efek antinosiseptif, antiinflamasi, dan antipiretik⁽³⁾; ekstrak etanol bagian daunnya mempunyai efek antifertilitas terhadap hewan pengerat⁽⁴⁾; dan alkaloid dari akar *C. serratum* sebagai antiasmatik⁽⁵⁾.

Penelitian ini merupakan rangkaian penelitian yang berkelanjutan, yang mana pada penelitian terdahulu dari daun *C. serratum* telah berhasil diisolasi tiga senyawa yang aktif sebagai antifertilitas terhadap spermatozoa *R. novergicus*. Ketiga senyawa tersebut adalah

22E,24ξ-24-*n*-propil-kholest-7,22-dien-3β-ol (C30 sterol), apigenin, dan diterpen klerodran (15,18-dihidroksi-8,13Z-dien labdan-8-aldehida), senyawa paling aktif ditunjukkan oleh C30 sterol. C30 sterol adalah suatu fitosterol yang merupakan perpanjangan gugus metil dari spinasterol (C29). Senyawa tersebut secara *in vitro* dapat menurunkan viabilitas dan motilitas, serta menaikkan abnormalitas spermatozoa *R. novergicus* ⁽⁶⁾. Senyawa C30 sterol pertama kali diisolasi oleh Li Bo Gang *et al.* ⁽⁷⁾. Untuk dapat digunakan sebagai bahan kontrasepsi maka terlebih dahulu akan dilihat keamanan senyawa fitosterol tersebut dengan mengujikannya terhadap viabilitas sel murine RAW 265.7.

2 METODE PENELITIAN

Isolasi senyawa C30 sterol dilakukan dengan berbagai teknik ekstraksi dan kromatografi. Pemisahan dan pemurnian dilakukan dengan menggunakan kromatografi kolom ditekan pada adsorben silika gel G60. Kromatografi lapis tipis menggunakan plat KLT silika gel GF254. Uji keamanan dari isolat ditentukan dengan metode MTT assay terhadap sel murine RAW 265.7 yang diperoleh dari Korea Cell Line Bank Yonsei University, Korea.

2.1 Bahan Tumbuhan.

Bahan tumbuhan berupa daun senggugu (*C. serratum*) yang dikumpulkan pada bulan Januari 2012 di daerah Sumedang, Jawa Barat.

2.2 Hewan Percobaan

Tikus putih (*R. novergicus*) diperoleh dari Laboratorium Struktur dan Perkembangan Hewan, Jurusan Biologi, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Sumedang.

2.3 Isolasi Senyawa C30 sterol

Daun *C. serratum* yang telah dikeringkan (5,8 kg) dimaserasi dengan metanol. Ekstrak metanol dikumpulkan kemudian diuapkan pada tekanan rendah diperoleh residu sebanyak 424 gram. Residu kemudian dilarutkan dalam air dan dipartisi dengan *n*-heksana. Fraksi *n*-heksana dipisahkan dan fraksi air dipartisi kembali dengan etil asetat. Fraksi etil asetat kemudian dikumpulkan dan dipekatkan, diperoleh residu berwarna coklat (139 gram). Fraksi etil asetat dipisahkan dengan kromatografi kolom ditekan menggunakan adsorben silika gel,

pelarut *n*-heksana : etil asetat : metanol secara bertahap dengan kenaikan kepolaran 10% dimulai dari *n*-heksana 100%, terkumpul 12 fraksi (A-L). Fraksi ke-2, ke-3, dan 4 (B, C, D, 28 g) dipisahkan kembali dengan adsorben yang sama dan pelarut *n*-heksana : aseton (9 : 1). Fraksi B33 dimurnikan kembali dengan kondisi kolom yang sama diperoleh kristal jarum tak berwarna (B33-7, 729 mg).

2.4 Uji Antifertilitas

Senyawa C30 sterol diujikan pada konsentrasi 12,5 ng/ μ L terhadap spermatozoa tikus putih secara *in vitro*. Spermatozoa dikumpulkan dari kauda epididimis. Suspensi spermatozoa disiapkan dalam 10 tetes NaCl 0,9% kemudian diencerkan 1000 kali dalam NaCl 0,9%. Suspensi spermatozoa dicampurkan dengan senyawa C30 sterol pada konsentrasi 12,5 ng/ μ L kemudian diamati motilitas, viabilitas, dan abnormalitas dengan menggunakan *hemositometer improved Neubaur* dan mikroskop. Kontrol diamati dengan cara yang sama tanpa senyawa C30 sterol.

2.5 MTT Assay.

Senyawa C30 sterol diujikan terhadap viabilitas sel murine RAW 265.7. **Kultur sel.** Makrofag RAW264.7 dikultur dalam medium Dubecco's modified Eagle's (DMEM) yang mengandung 10% fetal bovin serum (FBS), 100 units/mL penicillin, dan 100 μ g/mL streptomycin dari Gibco/BRL, USA). Makrofag diinkubasi dalam pelat jaringan 24-lubang dengan densitas 1.10^6 sel/mL selama 24 jam, suhu 37°C. Sel dipelihara pada 37°C dengan kelembaban udara mengandung CO₂ 5%. **Panen sel.** Setelah 2 hari sel dikeluarkan dari inkubator sel dibilas dengan PBS (Phosphat buffer saline), sel disentrifugasi pada 1500 rpm, suhu 4°C, selama 3 menit. Sel dihitung menggunakan *improved Neubauer*, setelah ditambah 10% *trypan blue* untuk mewarnai sel mati. Banyaknya sel hidup dihitung di bawah mikroskop. **Treatment makrofag dengan LPS.** Sampel dibuat variasi konsentrasi dalam DMSO: 1 ; 5 ; 10 ; 30; dan 50 μ M. Sebanyak 20 μ L sampel dimasukkan ke dalam mikropelat 96 lubang berisi sel dan ditambah media sebanyak 180 μ L. Inkubasi selama 2 jam. LPS disiapkan dengan konsentrasi 1 ppm. Setelah 2 jam, medium diambil sebanyak 20 μ L, kemudian ditambah 20 μ L LPS, inkubasi 1 hari. **MTT assay.** Viabilitas sel ditentukan dengan menggunakan pereaksi MTT (3-[4,5-dimetiltiazol-2-il]-2,5-difeniltetrazolium

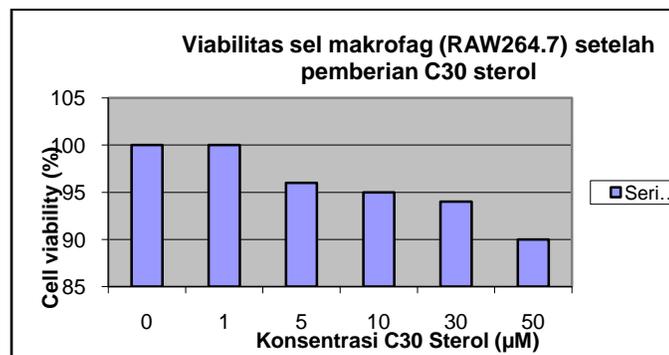
bromida). Sampel dibuat variasi konsentrasi dalam DMSO: 1 ; 5 ; 10 ; 30; dan 50 μM . Sebanyak 20 μL sampel dimasukkan ke dalam mikropelat dengan 96 lubang berisi sel dan ditambah media sebanyak 180 μL . Selanjutnya diinkubasi selama 2 jam. Setelah dikultur selama 2 jam, sel dicuci 2 kali dan diinkubasi dengan 110 μL 0,5 mg/mL MTT selama 2 jam pada 37°C. Medium dikeluarkan dan 100 μL DMSO ditambahkan. Setelah 30 menit inkubasi, absorbansi diukur menggunakan ELISA plate reader pada panjang gelombang 570 nm.

3 PEMBAHASAN

Senyawa C30 sterol diperoleh sebagai kristal jarum tak berwarna, dari hasil uji aktivitas secara *in vitro* menunjukkan bahwa pada konsentrasi 12,5 ng/ μL dapat menurunkan viabilitas dan motilitas, serta menaikkan abnormalitas spermatozoa *R. novergicus* berturut-turut sebesar 464%, 104% , dan 247%. Untuk melihat keamanan senyawa C30 sterol sebelum digunakan sebagai bahan obat maka dalam penelitian ini dilihat pengaruhnya terhadap viabilitas sel, sel yang digunakan adalah sel murine RAW 265.7. Konsentrasi C30 sterol dibuat bervariasi yaitu 1, 5, 10, 30, dan 50 μM . Setelah dibandingkan dengan kontrol yaitu media yang ditambah pereaksi MTT tanpa C30 sterol, viabilitas sel RAW 265.7 setelah pemberian C30 sterol 1 μM tetap 100%. Penurunan viabilitas sel 4% terlihat setelah pemberian C30 sterol 5 μM , tetapi sampai konsentrasi 50 μM penurunan sel yang mati hanya 10%. Dengan kata lain, dapat dikatakan bahwa senyawa C30 sterol tidak menunjukkan sitotoksin sampai konsentrasi 50 μM . Karena suatu senyawa dapat dikatakan toksik bila dapat menurunkan viabilitas sel di atas 50%. Hasil pengamatan seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1 Densitas optik formazan sel RAW264.7 setelah pemberian C30 sterol

Medium		Konsentrasi C30 sterol (μM)				
(+) LPS	(-) LPS	1	5	10	30	50
0,149	0,066	0,155	0,148	0,149	0,139	0,139
0,157	0,068	0,155	0,149	0,144	0,149	0,139
0,153	0,065	0,153	0,146	0,143	0,145	0,136
0,145	0,062	0,140	0,139	0,139	0,138	0,134
0,151	0,065	0,151	0,146	0,144	0,143	0,137



Gambar 1 Persen viabilitas sel RAW 264.7 setelah pemberian senyawa C30 sterol

4 KESIMPULAN

Dari fraksi etil asetat daun *C. serratum* telah terkandung suatu senyawa fitosterol (C30 sterol) yang dapat menurunkan kualitas spermatozoa *R. novergicus*, yaitu menurunkan viabilitas dan motilitas, dan menaikkan abnormalitas, berturut-turut sebesar 464%, 104% , dan 247%.

Selain itu senyawa tersebut sampai konsentrasi 50 μM hanya menurunkan 10% viabilitas sel murine RAW264.7 dengan demikian tidak menunjukkan sitotoksin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, atas bantuan dana Hibah Bersaing. Penulis mengucapkan terima kasih juga kepada Prof. Dr. Jae-Kwan Hwang dan Dr. Yaya Rukayadi, di Laboratorium Natural Products and Biomaterial, Department of Biotechnology, Yonsei University, Seoul, Korea Yonsei University, atas fasilitas dan bantuan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sachdev, K.C., Vasavada, S. A., and Joseph, A. D. (1964). *Indian Journal of Pharmacy*. 26 (4). 105-106.
- [2] Gupta, S. S., Bhagwat, A. W., and Modh, P. R., (1971). Effect of *Clerodendron serratum* Saponin on The Mast of Rat Mesentery. *Indian Journal Medicinal Science*. 25 (1). 29-91.
- [3] Viswanathan, S., Vijayasekaran, V., and Sukumar, E. (1998). Antinociceptive, Antiinflammatory and Antipyretic Effects of Ethanol Extract of *Clerodendron serratum* Roots in Experimental Animals. *Journal of Ethnopharmacology*. 65 (3). 237-241.
- [4] Connolly J.D., Faulkner D.J., Mori K., Nakanishi K., Gurrison G., Raphael R.A., Shamma M., and Tamm Ch. (1994). *Dictionary of Natural Product*. Vol 9. Type of Compound Index. Chapman & Hall. London.
- [5] Gupta S.S. (1977). Prospects and Perspectives of Natural Product in Medicine. *Indian Journal of Pharmacology*. 26.
- [6] Julaeha, E., Kurnia, D., Supratman, U., Subarnas, A., Supriyatna, Hayashi, H. (2005). An Antifertility C₃₀ Sterol from The Leaves of *Clerodendron serratum*. *Bulletin of The Indonesian Society of Natural Products Chemistry*. 5 (1), 28-32.
- [7] Li Bo-Gang, Chen Bin, Wang Ding-Yong, Ye Qi., and Zhang Guo-Lin. (2004). A Novel C₃₀ Sterol from Porana Racemosa. *Acta Botanica Sinica*. 46 (3): 375-378.

PEMBUATAN MEMBRAN SELULOSA ASETAT DARI KAYU ALBASIA

Evy Ernawati, Solihudin, Iman R, Rosiyyan

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Padjadjaran, Bandung
evyerna_p@yahoo.com

ABSTRAK

Selulosa asetat dari pulp albasia telah dibuat melalui proses asetilasi. Selulosa asetat ini digunakan untuk membuat membran berdasarkan metode inversi fasa penguapan pelarut. Membran yang dihasilkan diamati morfologi dan reaksi kimianya menggunakan SEM dan FTIR. Dari hasil penelitian diketahui bahwa dalam proses asetilasi dengan 75 mL asetat anhidrida pada suhu kamar dan dihidrolisis selama 30 menit menghasilkan selulosa asetat dengan kadar asetil 40,68%. Selulosa asetat yang dihasilkan dapat dibuat membran dengan komposisi 12%-b/b dalam pelarut aseton. Hasil analisa FTIR menunjukkan puncak khas gugus asetil pada daerah 1235 cm^{-1} dan gugus karbonil (1758 cm^{-1}). Analisa SEM pada permukaan membran selulosa asetat komersial mempunyai pori yang lebih rapat daripada membran selulosa asetat albasia. Sedangkan pada penampang melintang dari membran selulosa asetat komersial maupun membran selulosa asetat albasia menunjukkan struktur pori yang asimetrik dengan lapisan atas yang lebih rapat daripada lapisan bawah.

Kata kunci: pulp albasia, selulosa asetat, membran selulosa asetat

1 PENDAHULUAN

Albasia merupakan tanaman yang cepat tumbuh dan banyak digunakan sebagai bahan bangunan rakyat di desa karena harganya yang relatif murah. Kayu albasia biasanya digunakan sebagai bahan peti kemas dan bahan bakar batu bata [1]. Sebenarnya kayu albasia cukup potensial untuk dijadikan bahan baku pulp karena mengandung selulosa yang tinggi [2,3]. Selulosa dapat dibuat selulosa asetat melalui proses asetilasi [4] dan dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan membran selulosa asetat [5]. Membran ini dapat digunakan untuk proses pemisahan mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, reverse osmosis [6], dan pervaporasi [7,8]. Luasnya kegunaan membran selulosa asetat ini maka perlu upaya mendapatkan sumber alternatif bahan baku membran mengingat bahan dasarnya dapat diperoleh dari bahan alam .

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan kayu albasia dan tanaman hutan lainnya sebagai sumber bahan baku membran selulosa asetat untuk proses pervaporasi, sehingga pendayagunaan hasil hutan dapat lebih efisien dan ekonomis.

2 METODE PENELITIAN

Umum. Proses pembuatan selulosa asetat dari selulosa kayu albasia melalui proses asetilasi yang terdiri atas tiga tahap (pengembangan, asetilasi, dan hidrolisa). Selulosa asetat yang dihasilkan dibuat membran dengan metode *inversi phasa* melalui teknik pengendapan dengan penguapan pelarut (*precipitation by solvent evaporation*). Morfologi membran yang meliputi struktur pori diamati dengan SEM dan reaksi yang terjadi dalam proses asetilasi diamati dengan FTIR

Bahan Penelitian. Sampel yang digunakan adalah pulp dari kayu albasia yang mempunyai kandungan α -selulosa 92.96%, polimer selulosa asetat (CA) dari Aldrich, dan aseton .

Alat. SEM, FTIR

Pembuatan selulosa asetat.

a. **Tahap Pengembangan.** Sebanyak 10g pulp albasia hasil pemutihan direndam dalam 1L air, 30 menit, suhu kamar. Kemudian diperas sampai pulp basah mempunyai berat 20g. Pulp basah ini kemudian direndam dalam 150mL asam asetat glasial selama 30 menit dan diperas lagi sampai pulp basah mempunyai berat 30g.

b. **Tahap Asetilasi.** Setelah itu pulp dimasukkan dalam asetilator dan dicampur dengan 180 mL asam asetat glasial dan 1mL asam sulfat pekat. Campuran diaduk pada suhu kamar selama 1 menit, kemudian ke dalamnya dimasukkan asetat anhidrida sebanyak 75 mL. Larutan diaduk selama 1 jam pada suhu kamar.

c. **Tahap Hidrolisa.** Setelah proses asetilasi selesai, ke dalamnya ditambahkan campuran 7,5mL air dan 17,5mL asam asetat encer (67% b/b) diaduk selama 30 menit. Larutan selulosa asetat yang diperoleh diendapkan dengan cara menuangkan larutan sedikit demi sedikit ke dalam air yang diaduk cepat pada suhu kamar. Kristal selulosa asetat yang diperoleh dicuci dengan air sampai netral. Selulosa asetat yang diperoleh dikeringkan dalam oven 50⁰C, 24 jam. Selanjutnya ditentukan kadar asetil (SNI 14.0444-1989), analisa gugus fungsi (FTIR) , selanjutnya dibandingkan dengan selulosa asetat komersial

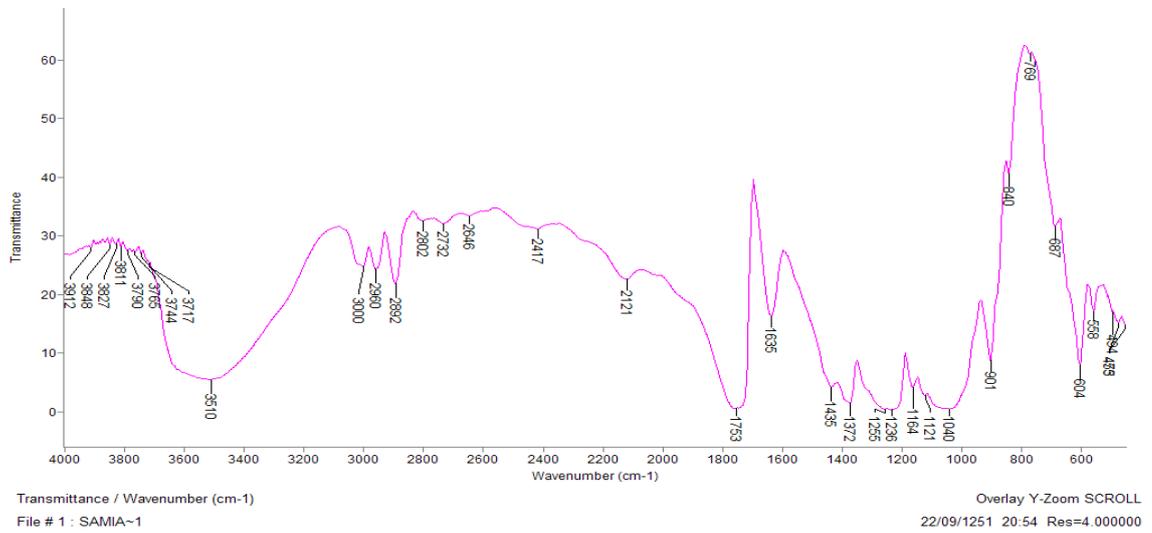
Pembuatan Membran Selulosa Asetat. Membran selulosa asetat dibuat dengan komposisi 12%b/b yaitu melarutkan 12g selulosa asetat dalam pelarut aseton menggunakan metode inverse fasa penguapan pelarut. Larutan membran selulosa asetat dicetak di atas pelat kaca hingga diperoleh membran datar yang tipis. Pelarut diuapkan di dalam desikator selama 24 jam.. Membran di analisa morfologinya dengan SEM

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

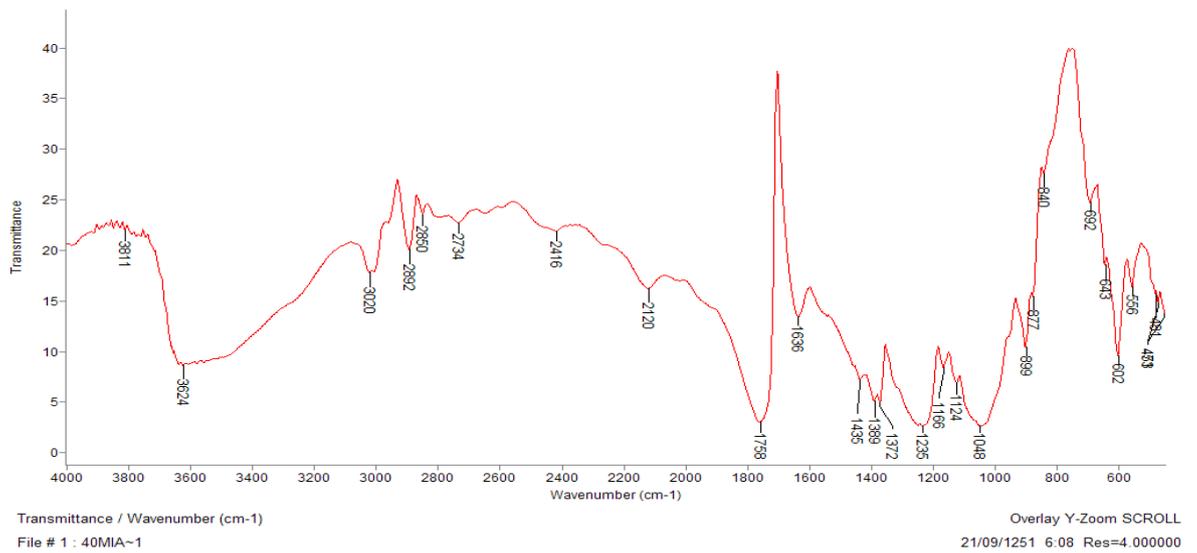
Pada proses pembuatan selulosa asetat albasia dilakukan dalam tiga tahap yaitu tahap penggembungan, tahap asetilasi, dan tahap hidrolisa. Pada tahap penggembungan, pulp direndam dalam air dan asam asetat glasial yang berfungsi sebagai *swelling agent*. Selain itu asam asetat glasial dapat meningkatkan reaktivitas selulosa agar mudah bereaksi asam asetat anhidrida. Pada tahap asetilasi, asam asetat yang ditambahkan berfungsi sebagai katalis yang mempercepat reaksi antara asam asetat dengan asetat anhidrida membentuk asetil sulfat dan asam sulfat. Asetil sulfat bereaksi dengan selulosa membentuk ester selulosa sulfat. Dengan adanya reaksi asetilasi, gugus -OH pada selulosa disubstitusi dengan gugus asetil membentuk selulosa asetat. Kondisi asetilasi sangat menentukan kualitas selulosa asetat yang dihasilkan sebagai bahan dasar membran. Hidrolisis dilakukan untuk meningkatkan kestabilan selulosa asetat yang dihasilkan. Jumlah konsentrasi asetat anhidrida yang digunakan dapat menentukan jumlah kadar asetil dari selulosa asetat. Hasil penelitian diketahui bahwa dalam proses asetilasi dengan 75 mL asetat anhidrida pada suhu kamar dan dihidrolisis selama 30 menit menghasilkan selulosa asetat dengan kadar asetil 40,68%. Sementara kadar asetil selulosa asetat komersial adalah 38,96%. Dari pengamatan analisis FTIR (Gambar 1, 2, dan Tabel 1), menunjukkan spektrum dari selulosa asetat albasia relatif sama dengan spektrum selulosa asetat komersial. Selain itu terjadi puncak serapan yang khas pada gugus karbonil (1758cm^{-1}) dan gugus asetil -CO (1235cm^{-1}). Ini membuktikan bahwa pada proses asetilasi telah terjadi perubahan dari selulosa menjadi selulosa asetat.

Hasil analisa dengan SEM (Gambar 3 dan 5) pada permukaan membran selulosa asetat komersial mempunyai pori yang lebih rapat dan distribusi pori yang lebih sedikit daripada membran selulosa asetat albasia. Sedangkan pada penampang melintang dari membran selulosa asetat komersial maupun membran selulosa asetat albasia menunjukkan struktur pori yang asimetrik dengan lapisan atas yang lebih rapat daripada lapisan bawah yang mempunyai rongga (Gambar 4 dan 6).

3.1 GAMBAR DAN TABEL



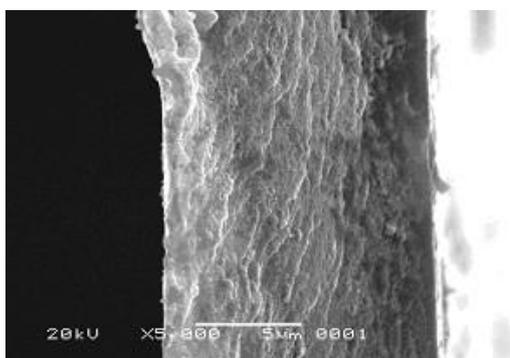
Gambar 1 Spektrum FTIR selulosa asetat komersial



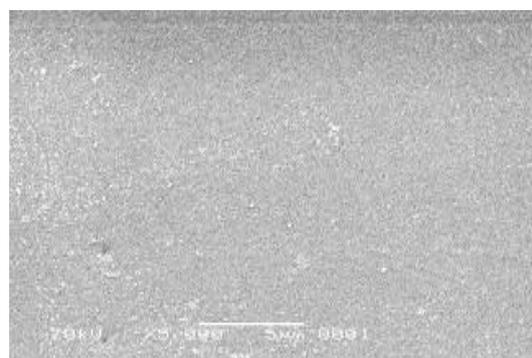
Gambar 2 Spektrum FTIR selulosa asetat albasia

Tabel 1 Perbandingan spektrum FTIR selulosa asetat komersial, dan selulosa asetat albasia

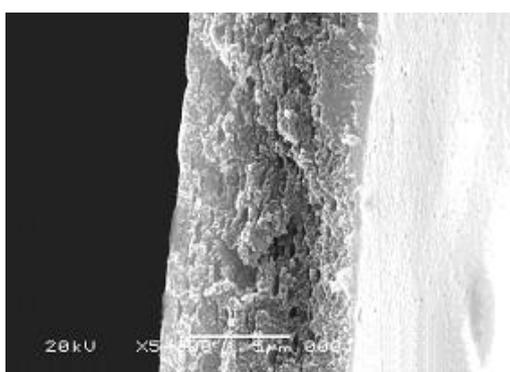
Selulosa asetat komersial		Selulosa asetat albasia	
cm ⁻¹	Gugus fungsi	cm ⁻¹	Gugus fungsi
3.510	O-H ulur	3.624	O-H ulur
2.960	C-H metil ulur	2.892	C-H metil ulur
1.753	C=O karbonil	1.758	C=O karbonil
1.635	C-H metil ulur	1.636	C-H metil ulur
1.255	C-O asetil	1.235	C-O asetil



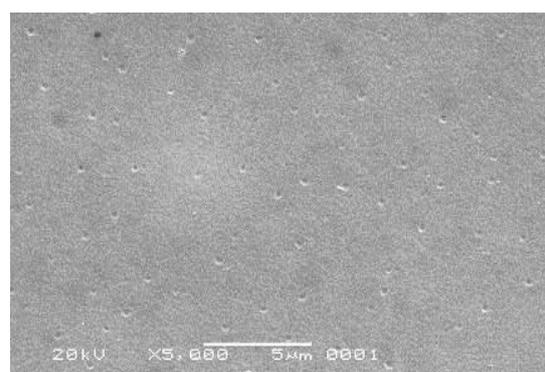
Gambar 3. Hasil pencitraan dengan SEM, penampang lintang membran selulosa asetat komersial



Gambar 4. Hasil pencitraan dengan SEM, permukaan membran selulosa asetat komersial



Gambar 6. Hasil pencitraan dengan SEM, permukaan membran selulosa asetat albasia



Gambar 6. Hasil pencitraan dengan SEM, penampang lintang membran selulosa asetat albasia

4 KESIMPULAN

Kadar asetil selulosa asetat albasia 40,68%. % dengan penggunaan 75 mL asetat anhidrida. Derajat polimerisasi selulosa asetat albasia lebih besar daripada selulosa asetat komersial. Dari pengamatan analisis FTIR, spektrum selulosa asetat albasia sama dengan spektrum selulosa asetat komersial. Pengamatan analisis SEM, menunjukkan distribusi pori membran selulosa asetat albasia yang lebih banyak daripada membran selulosa asetat komersial.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan pada DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL, yang telah membiayai penelitian ini melalui dana Hibah Bersaing tahun anggaran 2012.

PUSTAKA

- [1] Hidayat, J. 2002. *Paraserianthes (L) Nielsen. Informasi Singkat Benih.* 23
- [2] Martina, A., N. Yuli, & M. Sutisna. 2002. Optimasi beberapa faktor fisik terhadap laju degradasi selulosa kayu albasia (*Paraserianthes falcataria (L.) Nielsen* dan karboksimetil selulosa (CMC) secara enzimatik oleh jamur. *Jurnal Natur Indonesia.* 4, 156-163.
- [3] Iskandar, Z., Yunanto, Tedi, Ratnasari, Juwita. 2011. *Kayu Segon.* Jakarta, Penebar Swadaya
- [4] Sjoström E. 1993. *Wood Chemistry, Fundamentals and Applications.* Orlando: Academic Press, Inc.
- [5] Meenakshi P., Noojahan S.E., Rajini R., Venkateswarlu U., Rose R., Sastry T.P. 2002. Mechanical and Microstructure Studies on The Modification of Cellulose Acetate Film by blending with Polystyrene. *Indian Academy of Sciences (24):* 25-29.
- [6] Loeb, S. 1966. *Preparation and Performance of High-Flux Cellulose Acetate Desalination Membrane.* England: The MT Press.
- [7] Shao, P and R.Y.M. Huang. 2007. Polymeric Membrane Pervaporation. *Journal of Membrane Science.* (287): 162-179
- [8] Kataoka T., Tsuru T., Nakao S., Kimura S. 1991. Membran Transport Properties of Pervaporation and Vapor Permeation in Ethanol-Water System Using Polyacrylonitrile and Cellulose Acetate Membrane. *Journal of Chemical Engineering of Japan.* 24(3): 334-339.

PEMBUATAN PULP DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN METODE ORGANOSOLV

Zainuddin Muchtar¹, Arifista S.W. Harefa²

Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Medan
Jl. Willem Iskandar Pasar V, Medan 20221

ABSTRAK

Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah perkebunan kelapa sawit yang melimpah dan pemanfaatannya selama ini belum maksimal. Dari data yang ada, tandan kosong kelapa sawit memiliki kadar alfa selulosa yang tinggi yaitu 54,38% dengan lignin 23,95%. Karena itu tandan kosong kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif bahan baku produk-produk berbasis lignoselulosa seperti pulp dimana saat ini bahan baku kayu yang digunakan mulai menipis serta berdampak pada penebangan hutan dan kerusakan lingkungan. Seiring dengan hal tersebut dilakukan penelitian untuk memperoleh serat tandan kosong kelapa sawit dengan metode konvensional yaitu metode *kraft*. Metode ini tidak ramah lingkungan oleh karena itu proses organosolv dapat menggantikan proses ini karena pemisahan serat tidak menghasilkan limbah berbahaya bagi lingkungan. Proses pembuatan pulp tandan kosong kelapa sawit dilakukan dengan variabel pemasakan yaitu waktu pemasakan 60 ; 90 ; 120 menit, suhu pemasakan 80°C ; 90 °C ; 100 °C, serta konsentrasi larutan pemasak, yaitu metanol 40% ; 50% ; dan 60%. Hasil delignifikasi terbaik dari penelitian ini adalah terdapat pada kombinasi perlakuan : konsentrasi larutan pemasak 50%, lama waktu pemasakan 90 menit, dan suhu pemasakan 90°C.

Kata Kunci: Pulp, Tandan Kosong Kelapa Sawit, Organosolv, Lignoselulosa

1 PENDAHULUAN

Kertas merupakan sarana yang tergolong vital dalam kehidupan manusia yang kebutuhannya semakin meningkat dari tahun ke tahun. Pada umumnya industri kertas dan pulp di dunia, khususnya di Indonesia menggunakan serat kayu sebagai bahan baku. Industri kertas merupakan salah satu jenis industri terbesar di dunia dengan menghasilkan 178 juta ton pulp, 278 juta ton kertas dan karton, dan menghabiskan 670 juta ton kayu (Yuniarti, 2008). Hal ini tentu saja meningkatkan penebangan kayu yang berdampak kerusakan hutan dan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan biomassa dengan kandungan selulosa yang tinggi sebagai alternatif bahan baku pembuatan pulp.

Bahan non seperti limbah padat hasil pertanian merupakan bahan berlignoselulosa yang berpotensi sebagai sumber serat selulosa. Salah satunya limbah padat industri kelapa sawit, antara lain limbah batang kelapa sawit dan tandan kosong kelapa sawit. Negara Indonesia merupakan negara yang memiliki areal perkebunan kelapa sawit yang luasnya semakin meningkat setiap tahunnya. Peningkatan tersebut akan menambah jumlah produksi pengolahan kelapa sawit seperti CPO. Data terakhir menunjukkan bahwa produksi CPO Indonesia pada tahun 2010 mencapai 21,6 juta ton CPO, yang berarti

menghasilkan limbah padat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebanyak 20,2-25,2 juta ton.

Pemanfaatan TKKS saat ini telah dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan pupuk kompos oleh beberapa pabrik pengolahan kelapa sawit. Namun kebanyakan limbah ini masih dibuang atau dibakar begitu saja sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan. Padahal kandungan selulosa yang tinggi di dalam TKKS memungkinkan untuk mengembangkan pengolahan TKKS menjadi bahan baku bagi produk-produk lain berbasis selulosa lain seperti pulp dan kertas.

Pembuatan pulp umumnya menggunakan metode kimia yang saat ini yang sering digunakan adalah proses *Kraft*, namun proses ini memiliki beberapa kelemahan terutama dalam randemen pemasakan yang rendah, biaya produksi tinggi, laju delignifikasi rendah dan pencemaran lingkungan karena adanya limbah larutan pemasak. Lignin larut dalam dalam pelarut organik, karbohidrat larut dalam air, sedangkan selulosa tidak larut pada kedua larutan tersebut. Hal ini merupakan dasar dalam proses *pulping Organosolv*. (Haradewi, 2007). Proses organosolv adalah proses pemisahan serat dengan menggunakan bahan kimia organik seperti misalnya metanol, etanol, aseton, asam asetat, dan lain-lain. Proses ini akhir-akhir ini banyak diteliti dan dicoba penerapannya karena adanya beberapa faktor ekonomis yang lebih menguntungkan, yaitu randemen pulp yang tinggi, daur ulang lindi hitam dapat dilakukan dengan mudah, tidak menggunakan unsur sulfur, dapat menghasilkan *by-products* berupa lignin dan hemiselulosa dengan tingkat kemurnian tinggi, dampak terhadap lingkungan rendah dan dapat dioperasikan secara ekonomis pada skala relatif kecil (Aziz dan Sarkanen, 1989).

Berdasarkan hal-hal di atas maka perlu dilakukan pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit sebagai alternatif bahan baku pulp dengan menggunakan metode yang ramah lingkungan, yaitu dengan proses organosolv sehingga TKKS menjadi bernilai ekonomis yg lebih tinggi tanpa merusak lingkungan.

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Peralatan dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cawan porselin, oven, desikator, krus, *muffle furnace*, neraca analitik, beaker gelas 250 mL, dan 1000 mL, *water bath*, termometer, kaca arloji, corong Buchner, labu leher tiga, pendingin, pengaduk, *magnetic stirrer*, gelas ukur 10 dan 50 mL, buret 50 mL. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit dari PT. Perkebunan Nusantara IV Adolina

Perbaungan, NaOH 17,5% dan 8,5%, akuades, asam asetat 2 N, asam sitrat, metanol, KMnO_4 0,1 N, asam sulfat 4 N, KI 1 N dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N.

2.2. Prosedur Kerja

Sampel Tandan Kosong Kelapa Sawit dipotong kecil-kecil (dicacah) hingga berukuran 2-5 cm kemudian dibersihkan dan dijemur di bawah terik matahari untuk mengurangi sebagian besar kadar air. Kemudian dilakukan penggilan atau dapat juga di *blender* hingga ukurannya menjadi lebih halus (sekitar 0,7-0,5 mm).

2.2.1. Analisa Terhadap Bahan Dasar

Menentukan Kadar Air

Sebanyak 2 gram sampel ditimbang dalam cawan porselin, kemudian dikering dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam lalu didinginkan dalam desikator kemudian ditimbang.

Menentukan Kadar Abu

Krus kosong dibakar dalam *muffle furnece* pada suhu $575^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$ selama 2 jam atau lebih hingga diperoleh berat konstan (a). Kemudian 2 gram sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam krus porselin tadi, kemudian dipindahkan dalam *muffle furnace* dan dibakar pada suhu $575^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$ hingga seluruh karbon terbakar lalu didinginkan dalam desikator hingga diperoleh berat konstan.

Menentukan Kadar α -selulosa

Sebanyak 3 gram sampel kering dalam beaker gelas dan diletakkan dalam *water bath* dan suhu dijaga 20°C . 35 mL NaOH 17,5% ditambahkan dan diaduk selama 5 menit lalu ditambahkan lagi 10 mL dan diaduk selama 10 menit. Kemudian ditambahkan lagi masing-masing 10 mL pada menit ke 2,5 ; 5 ; 10 berikutnya, beaker gelas ditutup dengan kaca arloji dan dibiarkan selama 3 menit. Sebanyak 100 mL akuades ditambahkan lalu diaduk hingga homogen dan dibiarkan selama 30 menit, kemudian disaring dengan kertas saring dan saring penghisap. Sisa sampel dalam gelas dikeluarkan dengan bantuan penambahan 25 mL NaOH 8,5%. Endapan dicuci dengan akuades 5 x 50 mL lalu disaring dengan saringan penghisap dilanjutkan dengan pencucian dengan akuades 400 mL.

40 mL asam asetat 2 N ditambahkan. Endapan dibiarkan terendam, lalu cairan dibuang dan dicuci dengan akuades hingga netral (setiap kali pencucian diuji). Setelah netral

dikeringkan dalam oven pada suhu $105^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$. Lalu didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

$$\text{Kadar } \alpha\text{-selulosa} = \frac{\text{brt sampel stlh ditimbang}}{\text{brt sampel awal}} \times 100\%$$

2.2.2. Pemasakan (*Pulping*) dengan Metode Organosolv

25 gram cacahan TKKS dimasukkan ke dalam labu leher tiga. Bahan dimasukkan dengan 250 mL asam sitrat pH 2 dalam labu leher tiga. Kemudian diaduk dengan kecepatan 600 rpm pada suhu operasi 80°C dengan waktu pemasakan 75 menit. Campuran disaring kemudian filtrat dipisahkan sebagai pektin. Endapan dimasukkan dalam labu leher tiga. Metanol dimasukkan sebanyak 100 mL (40%, 50%, 60%) dalam labu leher tiga. Kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan 600 rpm pada variasi suhu operasi 80; 100; 120°C dengan waktu pemasakan yang ditentukan (60; 90; 120 menit). Pulp yang diperoleh dipisahkan dari filtratnya dengan penyaringan kemudian dicuci dengan akuades sampai pucat, kemudian pulp dioven pada suhu 105°C , kemudian didinginkan dalam desikator.

2.2.3. Analisa Bahan Jadi

Penentuan Bilangan Kappa

Sampel pulp dibentuk menjadi lembaran (*sheet*). Lembaran kemudian dikeringkan dalam oven dan dikeringkan dalam desikator lalu ditimbang. Sebanyak 400 mL air yang dimurnikan disiapkan dalam beaker 1000 mL dan ditempatkan di atas magnetic stirrer. Sebanyak 50 mL Kalium Permanganat (KMnO_4) 0,1 N dan 50 mL Asam Sulfat 4 N dimasukkan dalam beaker secara bersamaan dan sambil diaduk. Tepat 10 menit terakhir sebanyak 10 mL larutan KI 1 N dalam campuran kemudian segera dititrasi dengan larutan Natrium Thiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,1 N. Volume icatat sebagai **a**. Ukur temperatur campuran. Dalam penentuan blanko dilakukan dengan metode sama seperti di atas tetapi tanpa menggunakan pulp. Volume titrasi $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dicatat sebagai **b**.

3 Hasil dan Pembahasan

Tandan kosong kelapa sawit merupakan bahan berlignoselulosa yang memiliki struktur kristalin selulosa yang *rigid* (kaku) dan memiliki asosiasi yang kuat antara molekul selulosa dan lignin. Ikatan yang kuat ini akan menyebabkan delignifikasi menjadi lebih sulit. Delignifikasi akan menjadi lebih mudah jika sampel diberi perlakuan

awal sebelum digunakan, yaitu dengan pencacahan serta penggilingan untuk memperoleh serpihan tandan kosong sawit yang halus. Dengan ukuran yang kecil dan permukaan sampel yang semakin luas, penetrasi larutan pemasak akan lebih cepat berlangsung.

Pengecilan ukuran bahan menyebabkan terputusnya rantai polimer menjadi lebih pendek sehingga meningkatkan daerah *amorf* selulosa dengan lignin, dan lignin dapat dengan mudah dipisahkan dari ikatan *rigid* selulosa.

3.3.1. Analisa Terhadap Bahan Dasar

Analisa awal terhadap bahan dasar TKKS dalam penelitian ini meliputi kadar air, kadar abu dan kadar selulosa. Data hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar Air, Abu dan Selulosa TKKS

Parameter	Kadar
Air	7,01%
Abu	4,3%
Selulosa	69,94%

Dari hasil analisa kadar awal tersebut, dapat dilihat bahwa TKKS yang digunakan untuk penelitian memenuhi syarat sebagai bahan baku pulp dimana kadar α -selulosa lebih dari 40%, kadar air kurang dari 10% dan kadar abu yang kecil, 4,3%.

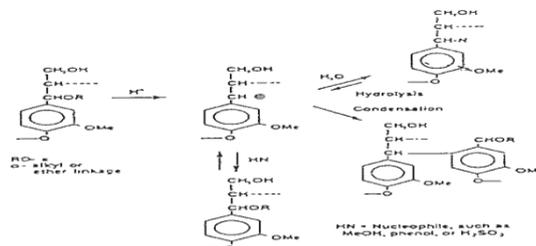
3.3.2. Delignifikasi

Delignifikasi diawali dengan ekstraksi zat-zat ekstraktif dengan menggunakan asam sitrat. Sisa larutan pengestrak berwarna coklat tua, menunjukkan adanya zat-zat ekstraktif yang terekstrak dari sampel. Delignifikasi kemudian dilanjutkan dengan larutan pemasak metanol dimana sisa larutan pemasak berwarna coklat. Sisa larutan pemasak ini tidak mengeluarkan bau menyengat seperti halnya pada proses konvensional lain. Sisa-sisa larutan pemasak dapat dimurnikan kembali untuk memperoleh metanol murni misalnya dengan cara destilasi. Selain itu, hasil samping berupa pektin dan lignin dapat diolah menjadi bahan yang berguna. Ini menunjukkan kelebihan proses organosolv yang tidak merusak lingkungan; dan untuk pulp, diperoleh pulp berwarna coklat, pulp ini dapat digunakan sebagai bahan pembuatan karton. Namun pulp masih berupa serat padat kemungkinan besar disebabkan karena penggilingan atau penghalusan sampel yang masih kurang optimal.



Gambar 1. Pulp hasil delignifikasi

Proses delignifikasi pada proses organosolv disebabkan oleh terputusnya ikatan eter, yaitu α -aril eter dan aril gliserol- β -aril eter dalam molekul lignin. Mekanisme hidrolisis α -aril eter ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2. Reaksi hidrolisis dan kondensasi ikatan α -aril eter dalam lignin

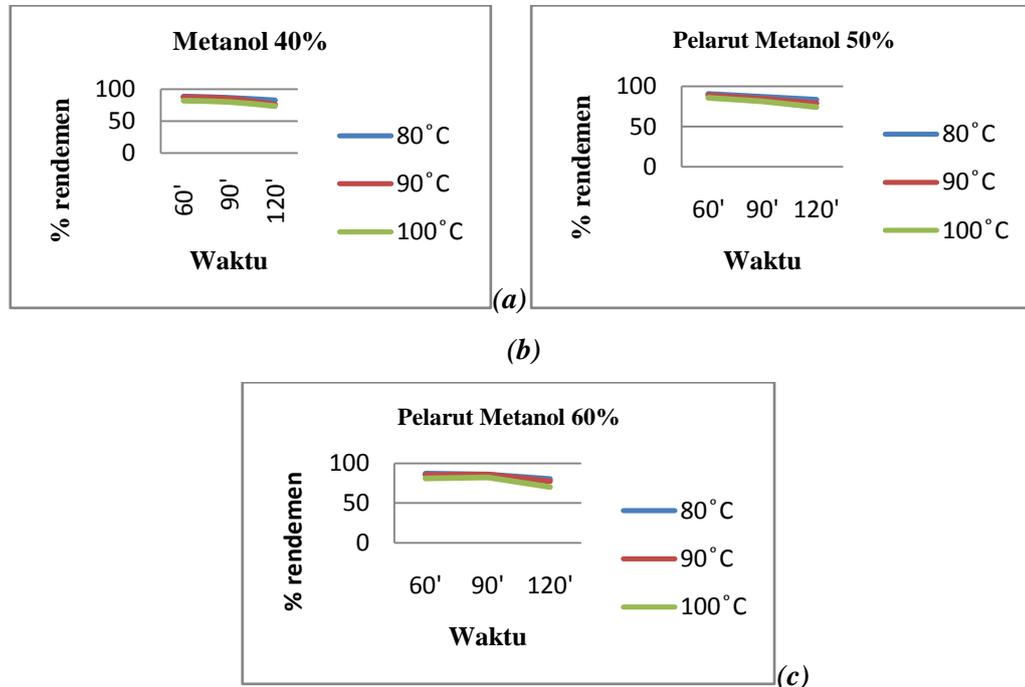
Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan suhu, waktu delignifikasi dan konsentrasi pelarut metanol. Data rendemen hasil delignifikasi tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Rendemen pulp dengan berbagai konsentrasi metanol

Waktu	Konsentrasi			
	Suhu	40%	50%	60%
60'	80°C	88,63	90,29	87,19
	90°C	87,61	88,91	85,33
	100°C	82,11	85,64	81,01
90'	80°C	86,59	86,76	86,16
	90°C	85,52	84,75	85,71
	100°C	80,16	81,11	82,09
120'	80°C	82,77	83,36	80,35
	90°C	76,38	79,03	77,62
	100°C	73,65	74,07	70,24

Dari data rendemen di atas, rata-rata rendemen pada penelitian ini adalah 82,7%. Nilai ini membuktikan kelebihan metode organosolv dimana rendemennya lebih tinggi dibandingkan rendemen pulp hasil proses semi-kimia yang rendemen rata-ratanya hanya berkisar 60-75%. Rendemen pulp tersaring paling tinggi terdapat pada kondisi pemasakan dengan waktu 60 menit, suhu 80°C dan konsentrasi larutan pemasak 50% yaitu sebesar 90,29%.

Grafik hubungan waktu, rendemen dan konsentrasi pelarut metanol dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 3. Grafik hubungan antar waktu dengan rendemen pada konsentrasi pelarut (a) metanol 40%; (b) metanol 50%; (c) metanol 60%

Penurunan rendemen pulp berkaitan dengan berkurangnya komponen kimia kayu, terutama lignin. Proses pemasakan dengan suhu yang lebih tinggi menyebabkan jumlah kehilangan lignin relatif lebih besar. Degradasi terhadap lignin semakin intensif karena serpih kayu secara seragam dan lebih lama terendam oleh larutan pemasak. Sesuai dengan pernyataan Casey (1980) dalam Tahyu (1996), bahwa degradasi terhadap lignin akan berhasil jika sepenuhnya dan secara seragam diimpregnasikan dengan larutan pemasak, sebab proses penetrasi dan difusi larutannya akan berlangsung baik.

3.3.3. Analisa Hasil Akhir

a. Kadar α -selulosa

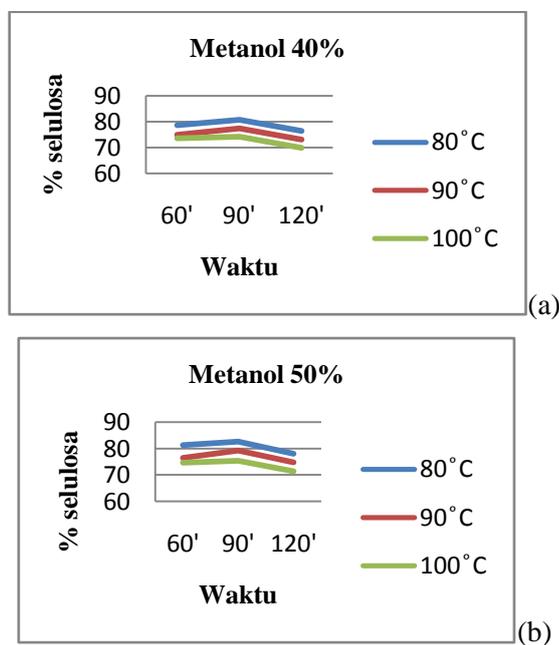
Kadar α -selulosa diukur berdasarkan bagian pulp yang tidak larut dan tahan terhadap larutan natrium hidroksida 17,5% dan 8,5% pada suhu 20°C. Alpha selulosa sangat menentukan sifat tahanan kertas, semakin banyak kadar alpha selulosanya menunjukkan semakin tahan lama kertas tersebut.

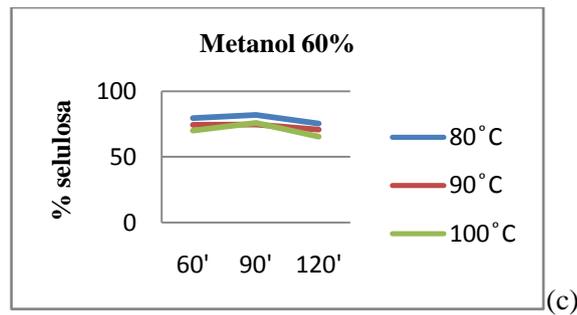
Pengukuran kadar selulosa pulp hasil delignifikasi dilakukan dengan berbagai variasi waktu pemasakan (60; 90; 120 menit), suhu pemasakan (80 °C , 90 °C , 100 °C) dan konsentrasi metanol (40%, 50% dan 60%). Data hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. Data pengukuran kadar α -selulosa

Waktu	Konsentrasi			
	Suhu	40%	50%	60%
60'	80°C	78,62	81,35	79,77
	90 °C	75,01	76,51	74,66
	100 °C	73,64	74,70	70,09
90'	80°C	80,73	82,62	82,11
	90 °C	77,46	79,31	74,80
	100 °C	74,23	75,39	72,92
120'	80°C	76,48	78,06	75,48
	90 °C	73,12	74,77	70,86
	100 °C	69,89	71,42	65,51

Dari data hasil pengamatan di atas, diperoleh rata-rata kadar selulosa sebesar 75,54%.





Gambar 4. Grafik hubungan antar waktu dengan kadar air pada konsentrasi pelarut (a) Metanol 40% ; (b) Metanol 50% ; (c) Metanol 60%

Kemungkinan faktor suhu yang semakin tinggi, waktu pemasakan yang semakin lama dan konsentrasi pelarut yang semakin tinggi menyebabkan selulosa menjadi larut dan rusak.

b. Kadar Air

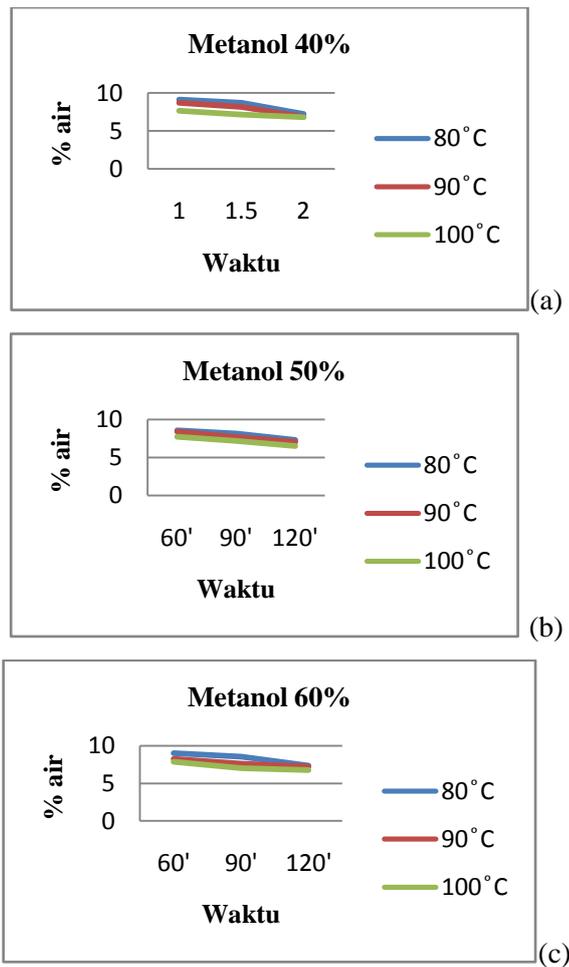
Pengukuran kadar air didasarkan pada suhu 105°C karena pada suhu inilah air dapat menguap sempurna. Suhu yang lebih rendah menyebabkan air tidak menguap seluruhnya. Dan suhu yang lebih tinggi menyebabkan perhitungan kadar air lebih tinggi karena komponen lain akan ikut menguap.

Data hasil pengukuran kadar air dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data pengukuran kadar air

Waktu	Konsentrasi			
	Suhu	40%	50%	60%
60'	80°C	9,11	8,56	9,02
	90°C	8,68	8,71	8,28
	100°C	7,29	7,42	8,1
90'	80°C	8,09	8,14	7,44
	90°C	7,97	8,03	7,39
	100°C	7,14	7,76	7,43
120'	80°C	7,2	6,88	7,36
	90°C	6,84	7,05	7,23
	100°C	5,86	6,21	6,06

Dari data-data hasil pengamatan di atas, diperoleh rata-rata kadar air sebesar 7,6%. Kadar air yang paling rendah terdapat pada kondisi pemasakan dengan waktu 120 menit, suhu 100°C dan konsentrasi metanol 40%.



Gambar 5. Grafik hubungan waktu dengan kadar air dengan konsentrasi pelarut: (a) Metanol 40%; (b) Metanol 50%; (c) Metanol 60%

Semakin lama dan tinggi suhu pemasakan, kadar air semakin rendah. Hal ini disebabkan karena air semakin banyak menguap. Kadar air yang rendah akan menghasilkan pulp dengan daya tahan yang lebih besar.

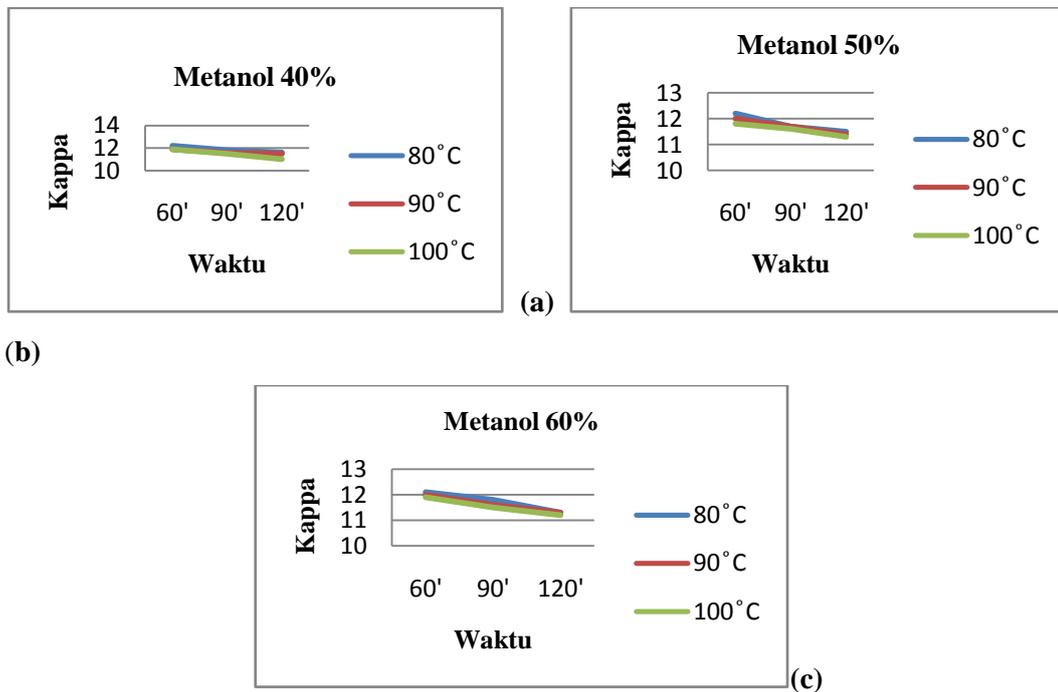
c. Bilangan Kappa

Bilangan Kappa didefinisikan sebagai volume larutan kalium permanganate (KMnO_4) 0,1 N yang digunakan untuk mengoksidasi 1 gram pulp selama 10 menit pada 25°C dikali dengan faktor koreksi. Dari hasil penelitian, diperoleh data-data nilai bilangan kappa pulp yang disajikan pada tabel.

Tabel 6. Bilangan Kappa Pulp

Waktu	Konsentrasi			
	Suhu	40%	50%	60%
60'	80°C	12,2	12,2	12,1
	90°C	11,9	12	12
	100°C	11,9	11,8	11,9
90'	80°C	11,8	11,7	11,8
	90°C	11,6	11,7	11,6
	100°C	11,5	11,6	11,5
120'	80°C	11,6	11,5	11,3
	90°C	11,5	11,4	11,3
	100°C	11,0	11,3	11,2

Dari data-data di atas, diperoleh bilangan kappa rata-rata sebesar 11,6. Grafik hubungan antara lama pemasakan, konsentrasi dan suhu dapat dilihat dari grafik berikut:

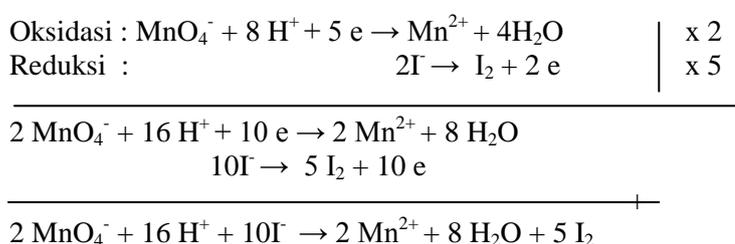


Gambar 6. Grafik hubungan antara waktu dan bilangan kappa dengan konsentrasi pelarut: (a) Metanol 40% ; (b) Metanol 50% ; dan (c) Metanol 60%

Struktur lignin mengalami perubahan pada temperatur tinggi an terpecah menjadi partikel yang lebih kecil dan terlepas dari selulosa. Penurunan bilangan kappa seperti pada rendemen tersaring, berhubungan erat dengan berkurangnya kadar lignin dalam pulp. Bilangan kappa yang rendah menunjukkan bahwa kandungan lignin sisa di dalam relatif rendah, tingkat kematangan pulpnya tinggi dan derajat delignifikasinya tinggi. Pada proses delignifikasi, ikatan antar lignin serta antara lignin dengan karbohidrat lebih cepat terurai sehingga lignin larut dalam larutan pemasak berupa lindi hitam.

Pulp *unbleach* yang memenuhi standar mutu pulp yang baik memiliki bilangan kappa sebesar 4-9. Nilai rata-rata bilangan kappa hasil penelitian adalah 11,6 menunjukkan sisa lignin yang masih banyak di dalam pulp. Hal inilah yang menyebabkan pulp dalam hasil penelitian ini masih keras dan kaku, serta serpihan tandan kosong sawit yang belum lunak. Sisa lignin yang masih banyak akan menyebabkan lebih banyaknya bahan kimia pemutih yang akan digunakan dalam proses *bleaching* nantinya.

Adapun reaksi yang terjadi dalam penentuan bilangan kappa adalah:



Reaksi ini didasarkan pada prinsip bahwa lignin akan mengkonsumsi kalium permanganat dengan kecepatan yang jauh lebih tinggi dari pada komponen-komponen karbohidrat di dalam pulp. Sehingga penggunaan kalium permanganat bisa digunakan untuk mengukur kandungan lignin didalam pulp.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan ini dapat disimpulkan bahwa:

- Pulp yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit dengan metode organosolv menghasilkan rendemen, kadar selulosa yang tinggi dan kadar air rendah tetapi kadar ligninnya masih tinggi.
- Rata-rata rendemen tersaring adalah 82,7% dan rendemen paling tinggi adalah 90,29% terdapat pada kondisi pemasakan dengan waktu 60 menit, suhu 80°C dan konsentrasi metanol 50%.
- Rata-rata kadar selulosa adalah 75,54% dan kadar selulosa paling tinggi adalah 82,62% terdapat pada kondisi pemasakan dengan waktu 90 menit, suhu 90°C dan konsentrasi metanol 50%.
- Rata-rata kadar air adalah 7,6% dan kadar air paling rendah adalah 5,86% terdapat pada kondisi pemasakan dengan waktu 120 menit, suhu 100°C dan konsentrasi metanol 40%.
- Rata-rata bilangan kappa adalah 11,6 dan nilai kappa terendah adalah 11,0 terdapat pada kondisi pemasakan dengan waktu 120 menit, suhu 100°C dan konsentrasi metanol 40%.
- Hasil delignifikasi terbaik dari penelitian ini adalah terdapat pada kombinasi perlakuan : konsentrasi larutan pemasak 50%, lama waktu pemasakan 90 menit, dan suhu pemasakan 90°C

Saran

- Untuk meningkatkan kematangan pulp, perlu dilakukan penambahan pengaruh lain seperti adanya katalis pada proses delignifikasi.
- Serpihan tandan kosong kelapa sawit yang akan digunakan dihaluskan dengan ukuran yang lebih kecil lagi
- Perlu dilakukan analisa kadar lignin pada analisa awal sampel.
- Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variabel-variabel lainnya guna mengetahui hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Angraini, D., Han Roliadi, (2011), Pembuatan Pulp Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Karton Pada Skala Usaha Kecil, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* Vol. 29 No. 3, September 2011: 211-225.
- [2] Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, (2008), *Pulp – Cara Uji Bilangan Kappa*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

- [3] Cowd, M.A., (1991), *Kimia Polimer*, Penerbit ITB, Bandung.
- [4] Ditjenbun, (2012), *Peresmian Peremajaan Pertama Kebun Plasma Kelapa Sawit Di Sei Tapung, Propinsi Riau, Tanggal 3 Pebruari 2012*, Drektrorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian./
- [5] Fauzi, Y., (2005)., *Kelapa Sawit – Budi Daya Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis Usaha dan Pemasaran, Edisi Revisi*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- [6] Firdaus, (1998), *Studi Pembuatan Pulp dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Proses Etanol*, Tesis, Teknik Kimia ITB, Bandung.
- [7] Hambali, E., dkk., (2007), *Teknologi Bioenergi*, AgroMedia Pustaka, Jakarta.
- [8] Hasibuan, R.S., (2010), *Kualitas Serat dari Limbah Batang Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Papan Serat*, Fakultas Pertanian USU, Medan.
- [9] Heradewi, (2007), *Isolasi Lignin dari Lindi Hitam Proses Pemasakan Organosolv Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)*, Fakultas Teknologi Petanian IPB, Bogor.
- [10] Harsini, T., Susilowati, (2010), *Pemanfaatan Kulit Buah Kakao Dari Limbah Perkebunan Kakao Sebagai Bahan Baku Pulp Dengan Proses Organosolv*, *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.2 No. 2*: 80-89.
- [11] Isroi, (2008), *Limbah Pabrik Kelapa Sawit*, <http://isroi.com/2008/06/19/limbah-pabrik-kelapa-sawit/>, diakses tanggal 22 Maret 2012.
- [12] Jalaluddin, Samsul R., (2005), *Pembuatan Pulp Dari Jerami Padi Dengan Menggunakan Natrium Hidroksida*, *Jurnal Sistem Teknik Industri, Vol.6 No.5*: 53-56.
- [13] Kusumayanti, H., dkk., (2007), *Manfaat Limbah Batang Jagung Dalam Pembuatan Pulp*, *Metana, Vol.5 No.2*: 21-28.
- [13] Munthe, B.C., (2011), *Industri Pulp – Meski Harga Turun, Ekspor Pulp Melaju*, <http://industri.kontan.co.id/news/meski-harga-turun-ekspor-pulp-melaju/2011/11/04>, diakses tanggal 29 Maret 2012.
- [14] Naibaho, Y., (2011), *Ekspor Naik 14,43%, TPL Targetkan Produksi Pulp 200.00 Ton*, http://www.medanbisnisdaily.com/news/read/2011/04/26/30786/ekspor_naik_1443persen_tpl_targetkan_produksi_pulp200-000_ton/, diakses tanggal 29 Maret 2012.
- [15] Oktarina, I., (2009), *Apa Itu Hemiselulosa*, <http://iepoktarina.blogspot.com/2009/11/apa-itu-hemiselulosa.html>, diakses tanggal 29 Maret 2012.

- [16] Oktaviani, D., (2009), *Lignin Terlarut Asam Dan Delignifikasi Pada Tahap Awal Proses Pulping Alkali*, Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, IPB, Bogor.
- [17] Prades, E.A., (2009), Ilmu Pulp dan Kertas, <http://www.ilmupulpdankertas.blogspot.com/>, diakses tanggal 20 Maret 2012.
- [18] Purwantoro, R.N., (2008), *Sekilas Pandang Industri Sawit*, Lembaga Management Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta.
- [19] Rifai, (2008), Proses Pembuatan Kertas, <http://rifaisains.wordpress.com/2008/11/26/proses-pembuatan-kertas/>, diakses tanggal 20 Maret 2012.
- [20] Sastrosayono, S., (2003), *Budidaya Kelapa Sawit*, AgroMedia Pustaka, Jakarta.
- [21] Sukarta, I.N., (2008), *Adsorpsi Ion Cr^{3+} Oleh Serbuk Gergaji Kayu Albizia (Albizia Falcata): Studi Pengembangan Bahan Alternatif Penjerap Limbah Logam Berat*, Sekolah Pascasarjana, IPB, Bogor.
- [22] Sumardjo, D., (2008), *Pengantar Kimia: Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran dan Program Strata I Fakultas Bioeksakta*, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta.
- [23] Stevens, M.P., (2001), *Kimia Polimer*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- [24] Tahyu, A., (1996), *Penurunan Bilangan Kappa Pulp Organocell Dari Beberapa Jenis Kayu Hutan Tanaman Industri, Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, IPB, Bogor*
- [25] Widiastuti, H. Dan Tri Panji, (2007), Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sisa Jamur Merang (*Volvariella Volvacea*) (TKSJ) Sebagai Pupuk Organik Pada Pembibitan Kelapa Sawit, *Menara Perkebunan*, **75(2)**: 70-79.
- [26] Yuniarti, A., (2008), Identifikasi Bahaya-Bahaya Zat Kimia Pada Industri Pulp/Kertas, <http://www.blogster.com/ayyunie/identifikasi-bahaya-bahaya-zat-kimia-pada-industri-pulp-kertas-240908095545>, diakses tanggal 28 Maret 2012.

PALLADIUM IMPRINTED POLYMERS SEBAGAI MATERIAL FUNGSIONAL UNTUK PEMUNGUTAN PALLADIUM DARI BIJI BESI

Muhammad Bachri Amran

Kelompok Keilmuan Kimia Analitik, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10, Bandung-40132
email : amran@chem.itb.ac.id

ABSTRAK

Logam kelompok platina (*platinum group metals*, PGMs) banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Pada 10 tahun terakhir ini, PGMs intensif digunakan sebagai autokatalis untuk pengolahan buangan gas pada mesin. Palladium dan PGMs lainnya juga semakin banyak digunakan untuk *solid catalyst fuel cell*. Palladium yang dicampur dengan emas dikenal sebagai emas putih sehingga tingkat konsumsi PGMs sebagai logam-logam berharga (*precious metals*) juga sangat tinggi. Di Indonesia sendiri, informasi dan teknik pengolahan/pemungutan serta pemurnian palladium masih sangat terbatas. Untuk keperluan tersebut, suatu material fungsional untuk pemungutan palladium telah disintesis. Pemungutan dilakukan dengan teknik ekstraksi fasa padat menggunakan material fungsional berupa *Palladium-Imprinted Polymers* (Pd-IPs). *Ion-Imprinted Polymers* (IIPs) merupakan fungsionalisasi resin pengkhelet dengan prinsip inklusi molekul kompleks antara pengkhelet dan logam target ke dalam matrik polimer. Logam target selanjutnya dilepaskan untuk memperoleh templat (cetakan) yang sesuai dengan logam target sehingga dihasilkan efek memori pada polimer. Material fungsional yang diperoleh telah digunakan sebagai kolektor yang dikemas dalam bentuk modul pemungutan palladium yang terkandung dalam biji besi dengan metoda ekstraksi fasa padat. Karakteristik retensi Pd-IPs serta kondisi optimum yang siap diaplikasikan pada pemungutan logam palladium dari biji mineral khususnya biji besi telah dipelajari untuk memperoleh palladium dengan tingkat kemurnian >95%.

Katakunci: Palladium, Ion Imprinted Polymers (Pd-IPs), Ekstraksi Fasa Padat

1 PENDAHULUAN

Kelompok logam platinum (PGM) secara luas digunakan untuk berbagai tujuan. Dalam 10 tahun terakhir, PGMs digunakan secara intensif sebagai *auto-catalyst* untuk mengurangi toksisitas gas emisi mesin. Palladium dan PGMs lainnya juga semakin banyak digunakan untuk *solid catalyst fuel cell*. Logam campuran palladium-emas yang dikenal sebagai emas putih ikut menyebabkan tingkat konsumsi PGMs sebagai logam mulia terus meningkat. [1, 2]. Biji mineral palladium umumnya berasosiasi dengan suatu mineral utama. Mineral seperti bijih besi, mengandung logam palladium pada tingkat renik dan juga berada bersama-sama dengan kelompok logam platinum lainnya. Hasil analisis kimia dari biji besi menunjukkan kehadiran sekitar 20 jenis oksida logam dan semua oksida logam yang terkandung didalamnya masih layak untuk diproses.

Undang-Undang Minerba tahun 2009 melarang industri pertambangan untuk mengekspor bahan baku dan diwajibkan untuk melakukan pengolahan terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai tambah dalam produk pertambangan. Di Indonesia, penelitian dan informasi tentang pengolahan / pemisahan dan teknik pemurnian paladium masih sangat terbatas. Pemisahan dan metode pemurnian yang dikembangkan dalam penelitian ini diharapkan dapat diterapkan pada tingkat industri. Ekstraksi dan pemurnian paladium pada kisaran konsentrasi ~ 50 g/ton masih sangat mungkin untuk dilakukan. Metoda pengolahan palladium untuk memperoleh tingkat kemurnian hingga 90 % hanya dapat dilakukan dengan melibatkan proses kimia. [3-6] Salah satu teknik pemisahan berbasis ekstraksi fasa padat yang dapat memberikan selektifitas yang sangat baik bahkan untuk ion-ion logam dengan ukuran yang sangat mirip adalah teknik ekstraksi fasa padat berbasis *ion imprinted polymers* [7-10]. Kemudahan proses dan kemungkinan diaplikasikannya pada skala besar juga memberikan keunggulan tersendiri pada teknik ini.

Dalam studi ini, telah dikembangkan proses pemisahan/pemurnian ion logam palladium melalui penggunaan material fungsional berupa *ion imprinted polimers* (IIPs). *Palladium Imprinted Polymers* (Pd-IPs) yang disintesis merupakan material fungsional baru dengan selektifitas yang tinggi (shape selectivity) Karakteristik sifat retensi material tersebut terhadap ion paladium dan ion logam lainnya yang berada secara bersama-sama dengan paladium dalam matriks, terutama matriks pasir besi, juga telah dipelajari.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan mencakup tiga tahapan yaitu: (1) sintesis material fungsional Pd-IPs, (2) karakterisasi sifat retensi terhadap ion Pd(II) dan (3) pemungutan palladium dari hasil pelindihan biji besi.

2.1 Sintesis Pd-Imprinted Polymer (Pd-IPs)

Sintesis dilakukan dengan metode *bulk polymerization* dengan beberapa tahapan. (1) palladium dikomplekskan dengan pengkhelat dimetilglyoxime untuk menghasilkan kompleks biner, (2) pre-polimerisasi kompleks palladium dengan stiren sebagai monomer, divinilbenzen sebagai pengikat silang dan benzilperoksida sebagai inisiator, (3) polimerisasi termal selama 24 jam pada 80 °C. Palladium yang terjebak dalam matriks polimer selanjutnya dilepas dengan menggunakan HCl 9 M. Material yang diperoleh dicuci dengan air demineralisasi dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C selama 24 jam sebelum dihaluskan.

2.2 Karakterisasi Pd-IPs

Morfologi permukaan Pd-IPs sebelum dan sesudah pembentukan template dipelajari dengan menggunakan electron mikroskop (SEM dan TEM). Hal yang sama juga dilakukan terhadap polimer kontrol (non-imprinted polymers, NIPs) yang disintesis dengan cara yang sama tetapi tidak melibatkan kompleks Pd- dimetilglyoxime. Parameter retensi seperti pH dan kapasitas retensi terhadap ion palladium ditentukan dengan cara *batch*.

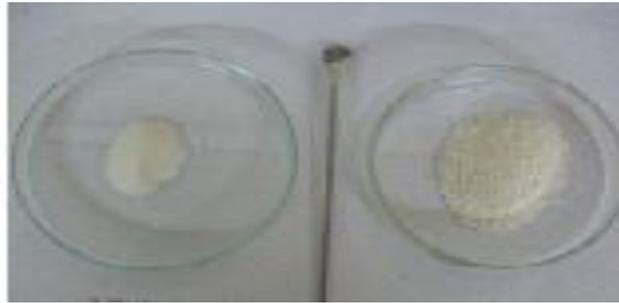
2.3 Pemungutan palladium dengan metoda ekstraksi fasa padat

Prakonsentrasi ion logam dilakukan dengan metoda batch untuk mempelajari pengaruh pH pada retensi ion logam dan kapasitas retensi. Sejumlah larutan ion logam pada berbagai pH dikontakkan dengan resin melalui pengadukan. Jumlah ion logam teretensi dihitung dari hasil pengukuran konsentrasi ion logam tersisa menggunakan spectrometer serapan atom. Kapasitas retensi selanjutnya ditentukan pada pH optimum retensi dengan menggunakan konsentrasi ion logam bervariasi

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sintesis Pd-Imprinted Polymer (Pd-IPs)

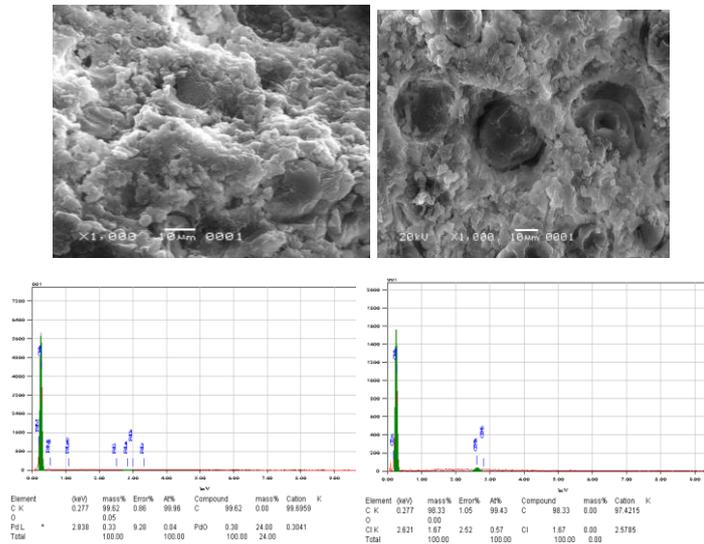
Sintesis palladium-imprinted polimer dilakukan seperti yang telah dilakukan oleh Prasada Rao, dkk [11] dengan beberapa modifikasi. Kompleks ion palladium dengan dimetilglyoxime (DMG) dalam pelarut metilisobutylketon (MIBK) digunakan sebagai template. Sintesis Pd-IPs dilakukan dengan polimerisasi termal pada suhu 80 °C selama 24 jam dalam penangas minyak. Styren digunakan sebagai monomer fungsional dan divinylbenzen sebagai pengikat silang serta benzoil peroksida (BPO) sebagai inisiator. Selama polimerisasi berjalan, kondisi polimerisasi selalu di dialiri oleh gas nitrogen. Ion palladium selanjutnya dilepas dari polimer menggunakan HCl 9 M sebagai pelindi. Material fungsional Pd-IPs yang diperoleh seperti ditunjukkan pada gambar 1 selanjutnya dikarakterisasi sifat retensinya.



Gambar 1. Material Pd-IPs setelah dikeringkan dan dihaluskan.

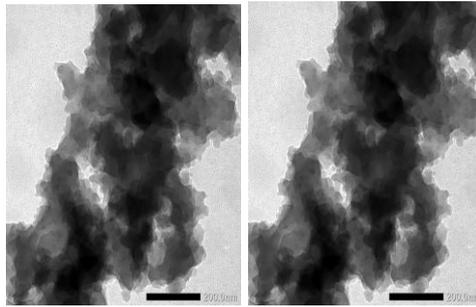
3.2 Karakterisasi sifat retensi Pd-IPs terhadap ion palladium

Morfologi permukaan material polimer sebelum dan sesudah pembentukan template dipelajari dengan menggunakan SEM dan TEM. Gambar 2 berikut ini adalah citra SEM dan spektra EDS dari polimer yang diperoleh. Citra SEM permukaan polimer sebelum dan sesudah pelepasan ion sangat jelas menunjukkan terjadinya proses pelepasan ion palladium melalui pelindihan dengan HCl 9 M. Sebelum pelepasan ion palladium, permukaan polimer tampak lebih halus dibanding setelah pelepasan. Spektrogram EDS pada gambar 2 menunjukkan pula secara jelas bahwa ion palladium telah berhasil dinklusi dan dilepas kembali dari polimer. Gambar 2(A) menunjukkan bahwa palladium telah berhasil dimasukkan dalam resin dengan proses polimerisasi (garis Pd-L, 2.838 keV), sedangkan pada spektrogram 2(B) tidak menunjukkan lagi adanya ion palladium.



Gambar 2. Citra SEM dan spektra EDS dari polimer yang diperoleh, (A) sebelum dan (B) setelah pelepasan template.

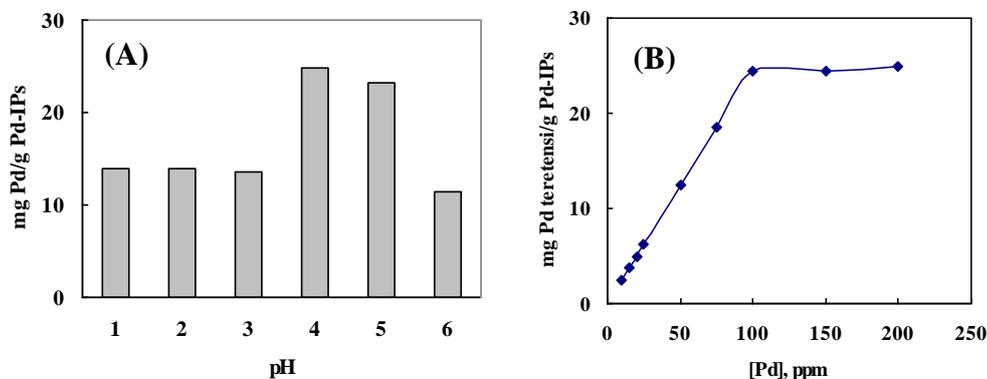
Proses terjadinya inklusi dan pelepasan ion palladium dari polimer diperkuat pula dengan citra TEM pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Citra TEM dari polimer yang diperoleh, (A). sebelum dan (B) setelah pelepasan template.

Pengaruh pH dan kapasitas retensi Pd-IPs terhadap ion palladium juga telah dipelajari dan hasilnya ditampilkan pada gambar 4. Pada gambar 4(A) terlihat dengan jelas bahwa ion palladium dapat teretensi dengan baik pada kisaran pH=4. Nilai pH optimum ini memberikan keuntungan tersendiri karena hasil lindihaan biji besi umumnya berada dalam suasana asam. Pada pH optimum ini, material Pd-IPs memiliki kapasitas retensi sebesar 25 mg Pd/g Pd-IPs.

Kapasitas retensi tersebut cukup baik dibandingkan dengan beberapa material lainnya yang sering digunakan untuk keperluan pemisahan atau pemurnian ion palladium. [12]



Gambar 4. Pengaruh pH (A) dan kapasitas retensi Pd-IPs (B) terhadap ion palladium.

(25 mL larutan Pd dikontakkan dengan 0,1 gram Pd-IPs)

Untuk melihat selektivitas material yang disintesis, telah dikaji pengaruh keberadaan ion logam lain pada retensi ion palladium baik untuk non-imprinted polymer (NIPs) maupun untuk Pd-IPs. Persen ekstraksi (%E), angka banding distribusi (D) dan selektivitas (α) Pd-IPs dibandingkan dengan NIPs dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik retensi Pd-IPs

Ion	Non-Imprinted Polymer	Pd-Imprinted Polymer
-----	-----------------------	----------------------

	%E	D	α Pd/M	%E	D	α Pd/M
Pd	47,50	0,91	-	> 99	99	-
Pt	23,33	0,30	3,03	16,05	0,19	521
Cu	1,76	0,018	50,56	1,78	0,018	5500
Zn	1,10	0,011	82,72	1,01	0,010	9900
Ni	1,72	0,018	50,56	1,72	0,018	5500

Besaran-besaran retensi di atas menunjukkan bahwa material fungsional yang disintesis telah mampu memisahkan ion palladium dari ion lain yang selalu ditemukan bersama dalam mineral.

3.3 Pemungutan palladium

Dengan menggunakan kondisi optimum yang telah diperoleh, material fungsional Pd-IPs telah digunakan untuk memungut ion palladium hasil lindihan biji besi. Proses pemungutan ini dilakukan dengan metoda *batch*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa material Pd-IPs yang disintesis mampu memisahkan ion palladium dari ion logam lain yang terdapat dalam lindihan dengan persen perolehan kembali tidak lebih kecil dari 95 %.

4 KESIMPULAN

Material fungsional berupa Pd-IPs telah berhasil disintesis dan dikarakterisasi sifat retensinya. Pd-IPs dapat disintesis melalui reaksi polimerisasi termal yang melibatkan stiren sebagai monomer, divinilbenzen sebagai pengikat silang, benzilperoksida sebagai inisiator dan kompleks Pd-dimetilglioksim dengan metal isobutyl keton sebagai porogen. Pembentukan template melalui pelepasan ion palladium dapat dilakukan dengan HCl 9 M. Kinerja pemisahan dan pemurnian yang diperoleh dapat dikatakan sangat baik yang ditunjukkan oleh nilai % ekstraksi, angka banding distribusi dan selektifitas yang besar.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada LPPM-ITB atas bantuan dana penelitian melalui Program Riset dan Inovasi Kelompok Keilmuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kasaini H., Masahiro G., Shintaro F., (2000), Selective separation of Pd(II), Rh(III) and Ru(III) ions from a mixed chloride solution using active carbon pellets, *Separation science and technology*, 35(9), 1307-1327.
- [2] Kanazawa Y dan Miyawaki R., (1991), Rare earth mineral and their crystal structure, *Proceeding of International Conference on Rare Earth Mineral for Electronic Use*, 43-58.
- [3] Bernardis F.L., Grant R.A., Sherington D.C., (2005), A review of methods of separation of the platinum-group metal through their chloro-complexes, *Reactive and Fuctional polymer*, 65, 205-207
- [4] Marinsky JA, Yizhak M,(1997), Ion exchange and solvent extraction, Marcel dekker, INC., vol.13,197-205.
- [5] Seyed N, George P, (1998), Permeation of Iridium (IV) and metal impurity chlorocompleves through a supported liquid membrane designed for rhodium separation, *Sep. Sci. Tech.*, 33(8), 1145-1162
- [6] Spivak D.A, (2005), Optimization, evaluation, and characterization of molecularly imprinted polymers, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 57, 1779-1794
- [7] Arani S., Seyed J., Bahrami A., Ghannadi M., (2008), Synthesis of nano-pore samarium (III)-imprinted polimer for preconcentration separation of samarium ion from other lanthanida ions melalui solid phase extraction, *Anal.Chim. Acta.*, 623, 82-88.
- [8] Daniel S., Praveen S., Prasada R., (2006), Ternary ion-association ion imprinted polymers (IIPs) for trace determination of palladium (II) in environmental samples, *Anal. Chim. Acta.*, 570, 79-87.
- [9] Kala R., Biju V., Prasada R., (2006), ion imprinted polymers solid phase extraction (IIPs-SPE) for preconcentration separation of erbium (III) from adjacent lanthanides and yittrium, *Sep. Scie. Tech.*,41, 233-246.
- [10] Mostafa K., Yadollah Y., Ensieh G, Javad F., Mojtaba S.,(2007), Imprinted polymers particle for selenium uptake: synthesis, characterizat on and analytical application, *Anal. Chim. Acta.*, 581, 208-213

- [11] Prasad K., Kala R., Gladis M., Prasad R., Naidu G., (2007), ion imprinted polymer based sensor for monitoring toxic uranium in environmental samples, *Anal. Chim. Acta.*, 582, 147-153.
- [12] Daniel S., Prabhakara R., Prasad R., (2005), Investigation of different polymerization methods on the analytical performance of palladium ion imprinted polymer materials, Daniel S., *Analytica Chimica Acta*, 536, 197-206.

PRODUKSI PROTEASE DARI *B. LICHEMIFORMIS* HSA3-1A DAN APLIKASINYA DALAM ISOLASI KITIN DARI LIMBAH UDANG SECARA ENZIMATIS

Hasnah Natsir^{1*}, Seniwati Dali^{1*}, Mahdaliah^{1*},
Nurlaeli Fattah^{2*}, Muhammad Nadir^{2*}

^{1*} Laboratorium Biokimia Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin,
Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10 Tamalanrea, Makassar Sulawesi Selatan,
Indonesia 90245, *Email: hasnahnatsir@gmail.com*

^{2*} Politeknik Pertanian Negeri Pangkep, Jl. Poros Makassar–Pare,
Km. 83 Pangkep, Indonesia 90655

ABSTRAK

Protease merupakan enzim hidrolitik yang dapat menghidrolisis protein dari berbagai sumber. Protease yang telah diisolasi dalam penelitian ini bersumber dari *B. licheniformis* HSA3-1a akan diaplikasikan dalam mendeproteinasi limbah udang untuk menghasilkan kitin. Kemampuan protease ini dalam mendeproteinasi limbah udang untuk menghasilkan kitin ditunjukkan dengan hasil pengujian karakteristik kitin hasil isolasi secara enzimatis yang dibandingkan dengan kitin standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa enzim protease dari bakteri *B. licheniformis* HSA3-1a dapat diproduksi maksimum pada kondisi fermentasi: waktu fermentasi 60 jam, suhu 50°C dan pH medium 7,0 dengan konsentrasi kasein sebagai substrat 0,5%. Hasil pengujian enzim protease dari *B. licheniformis* HSA3-1a dalam isolasi kitin dari limbah udang menunjukkan bahwa protease tersebut dapat menghasilkan kitin dengan waktu inkubasi 1-3 jam pada suhu 50°C. Nilai karakteristik kitin hasil isolasi secara enzimatis termasuk dalam kisaran karakteristik kitin standar yaitu kadar N-total= 7,56%, kadar air= 2,95%; kadar abu= 0,96% dan tekstur/warna berupa serbuk berwarna putih serta nilai derajat deasetilase kitin 42,41%.

Kata kunci: *B. licheniformis*, Protease, Kitin, Limbah Udang

1 PENDAHULUAN

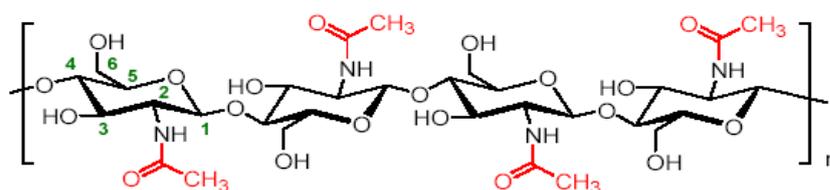
Protease merupakan enzim yang mempunyai daya katalitik terhadap ikatan peptida pada protein, dan hidrolisis sempurna protein akan menghasilkan monomer asam amino. Protease ini memiliki nilai ekonomi tinggi karena aplikasinya dalam industri yang sangat luas seperti: industri farmasi, deterjen, kulit, tekstil, makanan, hidrolisat protein, pengolahan susu dan pengolahan limbah. Kontribusi perdagangan enzim terbesar terdapat golongan proteolitik yaitu 60%, dan 40% dari total protease merupakan protease mikrobial [1].

Protease dalam bidang industri, lingkungan dan perikanan dapat digunakan dalam mendeproteinasi bahan yang mengandung protein seperti industri tekstil, penyamakan kulit, dan industri detergen yang dikenal nama Bio-40 [2], pengolahan

lateks [3] . Protease ini juga digunakan sebagai bahan pendeproteinasi pada limbah perikanan yang mengandung protein seperti kulit udang yang merupakan produk samping dari komoditas sektor perikanan[4].

Data dari Dinas Kelautan dan Perikanan Sulsel tentang ekspor udang tahun 2012, diperkirakan 30 ribu ton/tahun [5]. Hasil proses pembekuan, 40-50% dari berat udang menjadi limbah (kulit dan kepala) yang saat ini masyarakat hanya menggunakan sebagai bahan perasa pada pembuatan kerupuk dan terasi [6]. Oleh karena itu, limbah tersebut perlu penanganan yang serius terutama karena limbah ini mengandung senyawa kimia yang berpotensi menjadi bahan yang lebih bermanfaat yaitu kitin yang dapat dikonversi menjadi kitosan.

Kitin adalah polimer linier karbohidrat yang banyak terdapat pada limbah hasil laut golongan udang dan kepiting. Kandungan kitin dalam limbah udang sekitar 60–70% dan bila diproses menjadi kitosan menghasilkan 15–20% [7]. Kitin merupakan rantai panjang polimerik polisakarida dari beta-glukosa yang dibangun dari unit β -(1,4)-2-asetamida-2-deoxy-D-glukosa (Gambar 1).



Gambar 1. Struktur kitin [8]

Kitin pada limbah hasil laut umumnya masih terikat kalsium dan protein, oleh karena dalam isolasi kitin perlu demineralisasi dan deproteinasi sebelum dikonversi menjadi kitosan [9]. Kitin dapat dideproteinasi oleh enzim protease secara kimiawi maupun secara enzimatik. Hasil penelitian Rohyati [10] menunjukkan bahwa proses deproteinasi secara kimiawi memberikan hasil yang kurang maksimal. Oleh karena itu perlu dilakukan deproteinasi secara enzimatik dengan menggunakan enzim protease.

Berdasarkan hasil penelitian awal diperoleh bakteri termofil *B. licheniformis* HSA3-1a sebagai sumber daya hayati lokal Sulawesi Selatan [11]. Bakteri tersebut potensial menghasilkan enzim protease, dengan demikian dilakukan isolasi protease dari *B. licheniformis* HSA3-1a dan diaplikasikan dalam proses deproteinasi limbah udang untuk menghasilkan kitin secara enzimatik. Karakterisasi kitin hasil isolasi diuji kadar

air, kadar abu, kelarutan, analisis gugus fungsi dengan FTIR, serta analisis tekstur dan warna kitin.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Penyiapan Inokulum

Stok kultur bakteri termofil *B. licheniformis* HSA3-1a dikultur dalam medium nutrisi agar+kasein 0,5% hingga diperoleh isolat segar. Selanjutnya dilakukan penyiapan inokulum dengan komposisi medium: amonium sulfat 0,7%, yeast ekstrak 0,05%, bakto tripton 0,1%, NaCl 0,1%, K₂HPO₄ 0,01%, CaCl₂ 0,015%, MgSO₄.7H₂O 0,01% dan kasein 0,5% [12].

2.2 Produksi Enzim Protease

Produksi protease dilakukan dalam erlenmeyer 500 mL yang berisi 200 mL medium produksi dimasukkan 20 mL spora biakan bakteri *B. licheniformis* HSA3-1a, (inokulum aktif), kemudian dishaker pada suhu 50°C selama 1-5 hari dengan kecepatan aerasi 180 rpm. Dari hasil optimasi ini diperoleh kondisi optimum produksi protease, sehingga diperoleh protease dengan aktivitas tertinggi untuk dilanjutkan pada tahap berikutnya. Uji aktivitas protease dengan metode Bollag and Edelstein [13] dan [14] serta analisis protein secara Lowry.

2.3 Uji aktivitas protease

Larutan bufer fosfat sebanyak 0,5 mL dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian ditambahkan 0,1 mL larutan enzim dan 0,5 mL kasein 1% b/v dan tirosin 0,1 mM digunakan sebagai larutan standar. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 50°C selama 10 menit. Reaksi hidrolisis dihentikan dengan cara penambahan 1 mL TCA 0,1M. Selanjutnya larutan diinkubasi kembali pada suhu 50°C selama 10 menit, dilanjutkan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit. Selanjutnya campuran enzim sebanyak 0,75 mL ditambah 2,5 mL Na₂CO₃ 0,4M kemudian ditambah 0,5 mL pereaksi folin Ciocalteau (1:2) dan diinkubasi pada 50°C, 20 menit. Hasil inkubasi diukur dengan spektrofotometer.

2.4 Isolasi Kitin dari Limbah Udang

Proses isolasi atau produksi kitin menurut Bastaman [15] dimodifikasi, isolasi kitin umumnya mempunyai prosedur yang sama yaitu tahap awal limbah yang berupa eksoskeleton dicuci, dikeringkan dan digiling (50-100 mesh). Kemudian proses selanjutnya dilakukan **dalam 3 tahapan** yaitu: **Tahap Demineralisasi**: 100 gr serbuk kulit udang dilarutkan dalam HCl 1,5 N suhu 75°C selama 1 jam, kemudian dicuci

hingga pH netral, dan dikeringkan selama 24 jam, suhu 80°C. **Tahap Deklorinasi**, hasil dari tahapan ke (1) dilarutkan kedalam larutan NaOCl 0,5% pada suhu kamar dan disaring kemudian dikeringkan. **Tahap Deproteinasi** menggunakan enzim protease perbandingan 1:2 (b/v) selama 1, 2, dan 3 jam pada suhu 50°C. Selanjutnya disaring dan dicuci hingga pH netral, kemudian dikeringkan selama 24 jam pada suhu 80°C. Kitin hasil isolasi diuji karakteristik sifat kitin.

2.5 Karakterisasi Kitin

Uji karakteristik kitin meliputi: kadar air, kadar abu, kelarutan, analisis gugus fungsi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk penentuan derajat deasetilasi kitin, serta analisis tekstur dan warna kitin.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

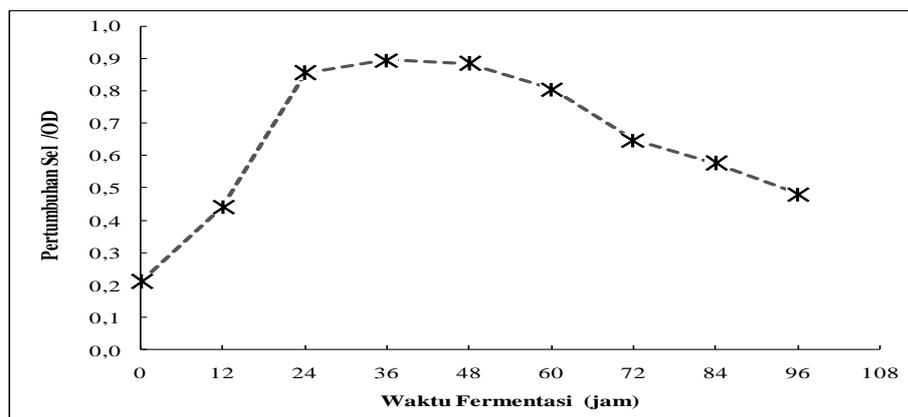
3.1 Produksi Protease dari *B. licheniformis* HSA3-1a.

Variabel yang dianalisis pada penentuan kondisi optimum produksi protease adalah pengaruh waktu fermentasi terhadap produksi protease, kadar protein dan pertumbuhan sel *B.licheniformis* HSA3-1a. Hasil analisis variabel produksi protease terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis variabel terhadap produksi protease *B.licheniformis* HSA3-1a

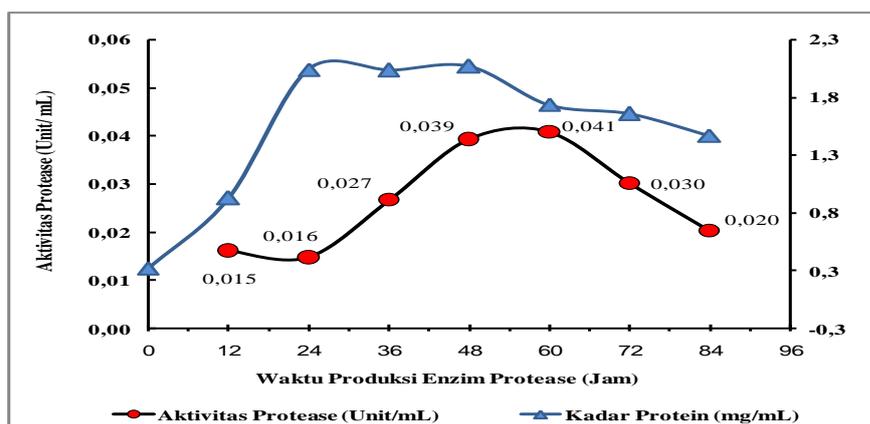
Waktu Fermentasi (Jam)	Pertumbuhan Sel Bakteri (OD)	Kadar Protein (mg/mL)	Aktivitas Protease (Unit/mL)
0	0,21	0,273	
12	0,442	0,879	0,0025
24	0,855	1,989	0,0166
36	0,895	1,984	0,0246
48	0,884	2,017	0,0625
60	0,805	1,885	0,0542
72	0,648	1,706	0,0236
84	0,576	1,417	0,0134
96	0,482	0,089	0,0097

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, pertumbuhan bakteri *B. licheniformis* HSA3-1a mulai terjadi fase pertumbuhan pada jam ke-0 sampai jam ke-12 dan pada jam ke-24 meningkat tajam yakni terjadi fase logarimik dan selanjutnya terjadi fase pertumbuhan stasioner dari jam ke-24 sampai pada jam ke-60 kemudian pertumbuhan bakteri perlahan-lahan menurun dan terjadi fase kematian, terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva pertumbuhan *B. licheniformis* HSA3-1a terhadap produksi protease pada kondisi: pH medium 7,0; suhu 50°C; dan kasein 0,5%.

Produksi protease mulai terjadi pada waktu fermentasi 12 jam kemudian mulai meningkat pada 24 jam menjadi 0,016 U/mL dan selanjutnya pada waktu produksi 48 jam protease disekresikan 0,039 U/mL hingga menjadi 0,041 U/mL pada jam ke-60 waktu produksi dan kemudian terjadi penurunan menjadi 0,030 Unit/mL pada jam ke-72 dan akhirnya terjadi penurunan lagi menjadi 0,02 Unit/mL pada jam ke-84 seperti terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 3. Hal ini menunjukkan bahwa produksi protease dari bakteri *B. licheniformis* HSA3-1a secara maksimum terjadi pada akhir fase stasioner pertumbuhan bakteri tersebut yakni pada jam ke-60 waktu fermentasi yang terjadi pada kondisi fermentasi pH medium 7,0; suhu 50°C dan kecepatan aerasi 180 rpm.



Gambar 3. Kadar protein dan aktivitas protease dari *B. licheniformis* HSA3-1a selama waktu fermentasi pada kondisi: pH medium 7,0; suhu 50°C; dan kasein 0,5%.

3.2 Isolasi kitin dari limbah udang dengan protease dari *B. lichemiformis* HSA3-1a.

Penggunaan enzim protease dalam isolasi kitin dari limbah udang dilakukan secara enzimatik yaitu dengan melakukan demineralisasi dan dekolourisasi terlebih dahulu sehingga diperoleh sampel kitin masih terikat protein. Hasil deproteinasi dengan enzim protease pada waktu inkubasi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam yang dibandingkan dengan kitin deproteinasi secara kimiawi dan kitin standar protan laboratories terlihat pada Tabel 2.

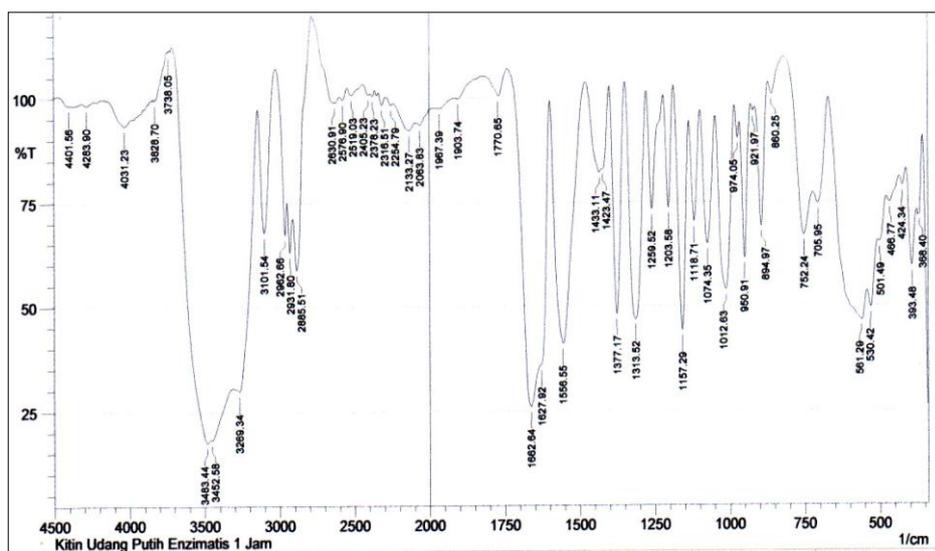
Tabel 2. Karakteristik kitin hasil deproteinasi secara enzimatik pada berbagai waktu inkubasi

Sampel Kitin	K Air (%)	K Abu (%)	N-Total (%)	Derajat Deasetilasi (%)	Tekstur/Warna
Kitin (deproteinasi enzimatik 1 jam)	2,95	0,96	7,56	42,41	Serbuk/ Putih
Kitin (deproteinasi enzimatik 2 jam)	2,95	0,55	7,77	42,42	Serbuk/ Putih
Kitin (deproteinasi enzimatik 3 jam)	2,70	0,34	7,63	42,48	Serbuk/ Putih
Kitin (deproteinasi secara kimiawi, 1 jam)	2,46	0,18	7,61	44,24	Serbuk/ Putih
Kitin Standar Protan Laboratories	< 10	< 2	6 - 8	15 - 60	Serbuk/ Putih

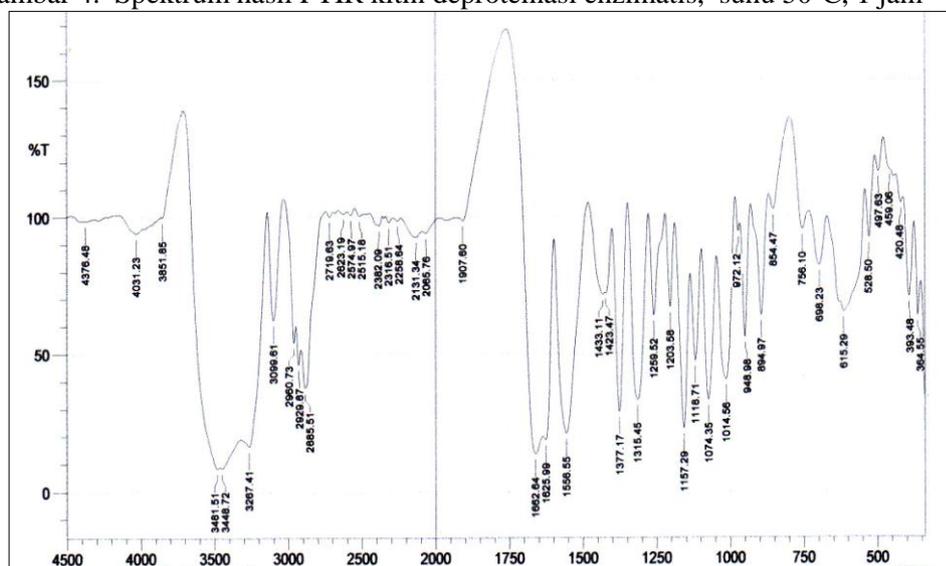
Hasil penelitian (Tabel 2) menunjukkan bahwa kitin hasil deproteinasi secara enzimatik selama waktu inkubasi 1-3 jam memiliki karakteristik yang termasuk pada kategori kitin standar. Menurut Protan Laboratories nilai karakteristik kitin standar yang beredar dipasaran sebaiknya mempunyai: kadar air <10%, kadar abu <2%, warna kitin putih dan memiliki derajat deasetilasi sekitar 15 - 60%. Dengan demikian bahwa proses deproteinasi secara enzimatik yang paling efektif adalah deproteinasi selama 1 jam dengan protease dari *B. licheniformis*, karena kitin yang dihasilkan memiliki nilai karakteristik yang relatif sama dengan waktu deproteinasi yang lebih lama yaitu 2-3 jam. Adapun kitin secara kimiawi jika dibandingkan dengan kitin secara enzimatik juga memiliki nilai karakteristik yang tidak berbeda jauh, namun proses enzimatik merupakan proses yang ramah lingkungan.

Identifikasi kitin dapat dilakukan dengan analisis spektrofotometer IR atau FTIR. Analisis FTIR ini digunakan untuk menentukan struktur khususnya gugus fungsi senyawa organik, metode ini dapat dilakukan dengan cara menghitung % transmisi atau

absorbansi. Perhitungan derajat deasetilasi (DD%) dari spektrum infra merah kitin dapat dilakukan dengan metode *base line*. Cara membandingkan absorbansi pada bilangan gelombang untuk gugus amida $-NH$ ($1650 - 1500$) cm^{-1} (A_{1655}) dan absorbansi pada bilangan gelombang untuk gugus amina primer $-NH_2$ ($3500 - 3200$) cm^{-1} (A_{3450}) dengan nilai absorbansi 1,33 pada proses deasetilasi sempurna [16].



Gambar 4. Spektrum hasil FTIR kitin deproteinasi enzimatik, suhu $50^{\circ}C$, 1 jam



Gambar 5. Spektrum hasil FTIR kitin deproteinasi kimiawi, suhu $75^{\circ}C$, 1 jam

Hasil spektrum FTIR kitin enzimatik (Gambar 4) dan kitin kimiawi (Gambar 5) dengan perhitungan derajat deasetilasi kitin menunjukkan bahwa nilai DD% kitin enzimatik adalah rata 42% sedang untuk kitin secara kimiawi 44%, dimana menurut

Protan Laboratories, bahwa kitin yang memiliki standar mutu yang baik diharapkan memiliki derajat deasetilasi sekitar 15-60% (Tabel 2).

4 KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah bahwa enzim protease dari bakteri *B. licheniformis* HSA3-1a dapat produksi secara maksimum pada kondisi fermentasi: pH medium 7, suhu 50°C, kecepatan aerasi 180 rpm selama waktu fermentasi 60 jam. Enzim protease dari bakteri *B. licheniformis* HSA3-1a dapat digunakan dalam isolasi kitin dari limbah udang dengan mendeproteinasi selama 1 jam pada suhu 50°C. Nilai karakteristik kitin hasil isolasi secara enzimatik masuk dalam kisaran karakteristik kitin standar yaitu dengan nilai kadar N-total= 7,56%, kadar air= 2,95%; kadar abu= 0,96%, derajat deasetilasi= 42,41% dan tekstur/warna berupa serbuk berwarna putih.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Dirjen Dikti Kemdikbud atas bantuan Penelitian MP3EI-2012 dan Terima kasih pula kepada anggota peneliti di Lab Biokimia Jurusan Kimia FMIPA Unhas dan Politani Pangkep serta Lab Biokimia UIN Makassar serta semua pihak yang terkait dengan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rao, M.M., A.M. Tanksale, M.S. Gatge, V.V. Desphande, 1998, **Molekular And Biotechnological Aspect Of Microbial Protease**, *Mikrobiol. And Mol. Biol. Rev.*, **62**(3):597-635.
2. Ward, O.P., 1985, *Proteolytic enzymes*. In Young, M.M. (Ed.). **Comprehensive Biotechnology: The principles, Applications, and Regulations of Biotechnology in Industry, Agriculture and Medicine**, Vol. 3, Pergamon Press, Oxford.
3. Siswanto, Suharyanto, Syamsu, Y., 2009, **Penggunaan Enzim Protease pada Pengolahan Lateks Pekat DPNR sebagai Bahan Pembn atan Sphgmomanometer**, Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Bogor. Bogor.
4. Abun, 2006, **Bioproses Limbah Udang Windu Melalui Tahapan Deproteinasi, Demineralisasi terhadap Protein dan Mineral Terlarut**, *Skripsi*, Fak. Peternakan Univ. Padjadjaran, Jatinangor, Bandung.
5. Departemen Kelautan dan Perikanan, 2012, Perimtaan Udang Sulawesi Selatan Capai 300 Ton, <http://www.antara-sulawesiselatan.com/berita/permintaan-udang-sulsel>, diakses: 29 Maret 2012.

6. Natsir, H., Dali, S., Jawahir, B. dan Aziz, F., 2007. Konversi Kitin dari Limbah Udang Api-api (*Metapenaeus monoceros*) Menjadi Senyawa Kitosan Secara Enzimatis. *J. Marina Chemica Acta*. Edisi Khusus Seminar Nasional FK3TI: **82–89**.
7. Angka, S.L.dan M.T.Suhartono. 2000. **Bioteknologi Hasil Laut**. PKSPL-Institut Pertanian Bogor. Bogor.
8. Thate MR. 2004. *Synthesis and Antibacterial Assessment of Water-Soluble Hydrophobic Chitosan Derivatives Bearing Quaternary Ammonium Functionality*. Louisiana: Disertasi
9. Rukayadi, Y, 2003, **Kitin Deasetilase dan Pemanfaatannya**, Hayati, Vol.9 (4): 130-134.
10. Rokhati, N., 2006, Pengaruh Derajat Deasetilasi Kitosan dari Kulit Udang terhadap Aplikasinya sebagai Pengawet Makanan, *Reaktor*, Vol.10 (2): **54-58**
11. Natsir, H., Patong, A.R., Suhartono, M.T. and Ahmad, A. 2010. Production and Characterization of Chitinase Enzymes from Hot Spring in South Sulawesi, *Bacillus* sp. HSA3-1a. *Indo. J. of Chem.* **10 (2): 256–260**.
12. Natsir, H., D.Chandra, Y.Rukayadi, M.T. Suhartono, J.K. Hwang, and Y.R.Pyun, (2002), **Biochemical Characteristics of Chitinase Enzyme from *Bacillus* sp. of Kamojang Craater, Indonesia**. *Journal Of Biochem., Molecular Biology and Biophysics*
13. Bollag, D.M. and Edelstein, S.J. 1991. Protein Methods. New York: Wiley-Less.
14. Baehaki, A., Rinto, Budiman, A., 2001, **Isolasi dan Karakterisasi Protease dari Bakteri Tanah Rawa Indralaya**, *J. Teknol. dan Industri Pangan*, **22(1)**, 37 – 42.
15. Bastaman, S., N.Aprianita dan Hendarti. 1998. **Penelitian Limbah Udang sebagai Bahan Industri Kitin dan Kitosan**. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Hasil Pertanian. Jakarta.
16. Rizqiyah, D.N.R., 2010, **Isolasi dan Identifikasi Kitin dan Kitosan dari Cangkang Hewan Mimi (*Horseshoe Crab*) Menggunakan Spektrofotometri Infra Merah**, *Alchemy*, Vol.2 No. 1, hal. 104 – 157.

STUDI PENENTUAN REAKTIVITAS KIMIA MEKLORETAMIN MENGUNAKAN METODE VOLTAMMETRI SIKLIK

Henry Setiyanto ^{1*}, Vienna Saraswaty ², Rukman Hertadi ³, Indra Noviandri
¹, Buchari Buchari¹

Kelompok Keilmuan Kimia Analitik, Institut Teknologi Bandung, Bandung^{1*}

henry@chem.itb.ac.id

Pusat Penelitian Kimia, LIPI, Bandung²

Kelompok Keilmuan Biokimia, Institut Teknologi Bandung, Bandung³

ABSTRAK

Studi mengenai interaksi elektrokimia senyawa antikanker mekloretamin di dalam pelarut asetonitril belum pernah dilakukan. Reaktivitas kimia senyawa ini dapat dihitung menggunakan pendekatan metode voltammetri siklik. Kami menemukan bahwa tetapan laju reaksi maju (reaktivitas kimia/ K_f) dari senyawa mekloretamin di dalam asetonitril adalah $0,2724 \text{ det}^{-1}$. Nilai ini didapat dari nilai *slope* kurva $K_f t$ vs t dengan koefisien korelasi $R^2 = 0,9806$. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya dimana reaktivitas kimia mekloretamin lebih besar dari klorambusil dan bersesuaian dengan urutan reaktivitas biologis menggunakan metode *invivo/invitro*.

Katakunci: Mekloretamin, Reaktivitas kimia, Voltammetri siklik, Asetonitril

1 PENDAHULUAN

Voltammetri merupakan metode yang sangat sensitif, murah dan efektif untuk analisis molekul-molekul kimia termasuk didalamnya obat-obat anti kanker. Metode ini sangat populer dan sangat luas digunakan karena tidak memerlukan biaya besar, sederhana dan waktu yang relatif singkat apabila dibandingkan dengan metode-metode lain dalam bidang kimia analitik [1-5]. Salah satu dari beberapa metode voltammetri, yaitu voltammetri siklik sangat berguna dalam menjawab permasalahan reaksi oksidasi-reduksi, kinetika dan reaksi pada permukaan elektroda seperti penentuan tetapan laju reaksi maju dari senyawa / obat anti kanker [6, 7]. Tetapan laju reaksi maju obat anti kanker mekloretamin belum pernah ditentukan menggunakan metode ini.

Senyawa atau obat anti kanker golongan mustar nitrogen telah dilaporkan sangat potensial sebagai penyebab penyakit kanker dan pemicu kanker sekunder [8-11]. Permasalahan tersebut sangat terkait dengan reaktivitas kimia atau tetapan laju reaksi maju dari senyawa-senyawa tersebut. Dua dari kelompok senyawa mustar nitrogen, yaitu mekloretamin dan klorambusil mempunyai reaktivitas kimia yang berbeda. Menurut data

dari metode *invivo/invitro*, mekloretamin mempunyai reaktivitas biologis yang lebih besar dari klorambusil. Terkait dengan hal tersebut, sangatlah penting untuk membuktikan bahwa reaktivitas kimia mekloretamin lebih besar dari klorambusil apabila dihitung menggunakan metode voltametri siklik.

2 METODE PENELITIAN

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah voltametri siklik, menggunakan seperangkat alat BASi Epsilon Electrochemical Analyzer.

2.1 Peralatan dan Prosedur

Digunakan 3 elektroda standar pada pengukuran elektrokimia/voltametri, yaitu elektroda platina (1 mm) sebagai elektroda kerja, kawat platina sebagai elektroda pembantu dan Ag/AgCl (3M KCl) sebagai elektroda pembanding. Pengukuran voltametri siklik dilakukan pada sel berukuran 10 mL yang dibuat sendiri. Elektroda kerja dibersihkan menggunakan larutan suspensi alumina sebelum dilakukan pengukuran. Larutan sampel dibuat dengan melarutkan sejumlah mekloretamin di dalam asetonitril yang mengandung 0,2 M Natrium Perklorat. Larutan buffer fosfat ditambahkan sebelum pengukuran dilakukan.

2.2 Bahan

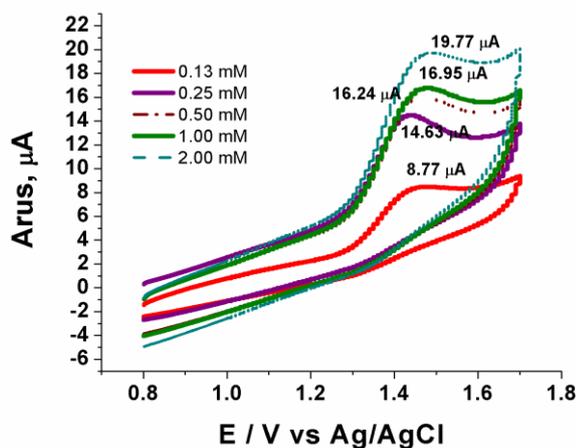
Semua zat-zat kimia yang digunakan dalam penelitian ini dalam konsentrasi *pro analysis*. Mekloretamin diperoleh dari SIGMA sedangkan asetonitril, natrium perklorat dan kalium dihidrogen fosfat dan natrium dioksida diperoleh dari MERCK.

3 HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pengaruh Konsentrasi

Seperti terlihat pada Gambar 1, arus puncak oksidasi-reduksi mekloretamin ditampilkan pada berbagai keadaan konsentrasi dalam rentang 0,1 – 2,0 mM. Tampak dalam gambar tersebut bahwa dengan bertambahnya konsentrasi mekloretamin, nilai arus puncak oksidasi (I_{p_a}) dan arus puncak reduksi (I_{p_c}) bertambah dengan pergeseran nilai potensial puncak oksidasi (E_{p_a}) dan potensial puncak reduksi (E_{p_c}) yang tidak terlalu besar. Bertambahnya konsentrasi menyebabkan bertambahnya arus secara linier, oleh

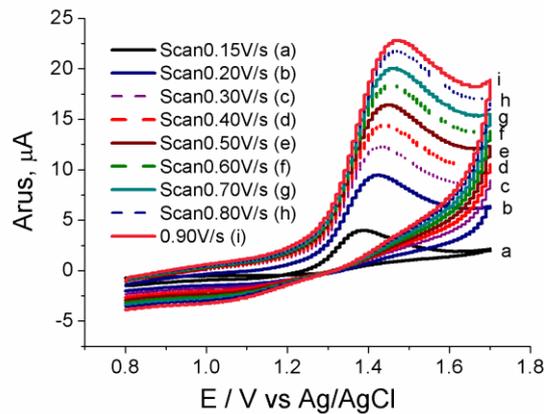
karena itu untuk mendapatkan hasil yang optimal digunakan konsentrasi 2 mM pada pengukuran-pengukuran selanjutnya.



Gambar 1 Pengaruh Penggunaan Konsentrasi yang Berbeda dari Mekloretamin di Dalam Pelarut Asetonitril.

3.2 Pengaruh Laju Pindai (*Scan Rate*)

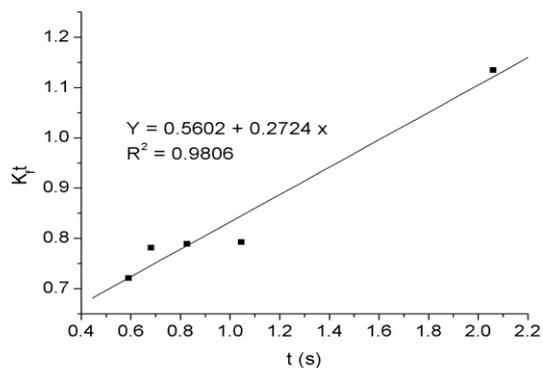
Pengaruh penggunaan nilai laju pindai yang berbeda dilakukan pada 2 mM mekloretamin dengan 0,2 M larutan penyangga fosfat pada pH 7,0. Nilai pH tersebut didapat dari hasil optimisasi pada rentang 7,0 – 8,0 di dalam pelarut asetonitril. Pengaruh nilai laju pindai dilakukan pada rentang 0,1 – 1,0 Vdet⁻¹. Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa dengan bertambah nilai laju pindai, arus puncak oksidasi (I_{p_a}) semakin bertambah. Hal yang serupa terjadi pada arus puncak reduksi (I_{p_c}), hanya tidak terlihat secara jelas arus puncak reduksi tersebut. Koefisien korelasi (R^2) dari kurva nilai I_{p_a} dan I_{p_c} terhadap nilai akar pangkat dua dari laju pindai ($v^{1/2}$) cukup baik, yaitu secara berturut-turut 0,9488 dan 0,9429. Hal ini menunjukkan bahwa proses yang terjadi dipermukaan elektroda platina adalah proses difusi. Selain itu data-data di atas juga menunjukkan bahwa tipe mekanisme reaksi yang terjadi pada mekloretamin di dalam asetonitril adalah mekanisme secara elektrokimia reversibel dilanjutkan secara kimia ireversibel (E_rC_i).



Gambar 2 Pengaruh Nilai Laju Pindai (scan) dari Mekloretamin di Dalam Pelarut Asetonitril.

3.3 Reaktivitas Kimia/Tetapan Laju Reaksi Maju

Kami menghitung parameter-parameter dari voltammogram yang didapat untuk memperoleh nilai I_p/I_{p_a} , E^0 , dan t . Nilai-nilai $K_f t$ didapat dari pengaluran kurva kerja Nicholson, yaitu kurva I_p/I_{p_a} terhadap $\log K_f t$. Nilai K_f diperoleh melalui nilai gradien (garis miring/slope) dari kurva $K_f t$ terhadap t . Puncak oksidasi dan reduksi diperoleh menggunakan pendekatan dan koreksi dari persamaan Nicholson [12-15]. Dari perhitungan ini didapat nilai K_f mekloretamin di dalam asetonitril sebesar $0,2724 \text{ det}^{-1}$ dengan koefisien korelasi $R^2 = 0,9806$. Hasil ini membuktikan bahwa reaktivitas kimia mekloretamin lebih besar dari klorambusil, yaitu $0,0245 \text{ det}^{-1}$ [7].



Gambar 3 Kurva $K_f t$ terhadap t untuk Penentuan Nilai Tetapan Laju Reaksi Maju Dari Mekloretamin (K_f).

4 KESIMPULAN

Pada penelitian ini interaksi elektrokimia mekloretamin di dalam asetonitril telah dilaporkan. Penentuan reaktivitas kimia senyawa tersebut dilakukan melalui nilai tetapan laju reaksi majunya dan telah berhasil dihitung menggunakan metode voltametri siklik. Reaktivitas kimia mekloretamin lebih besar apabila dibandingkan dengan klorambusil, sesuai dengan urutan data reaktivitas biologisnya menggunakan metode *invivo/invitro*.

PUSTAKA

- [1] Dar, R.A., Brahman, P.K., Tiwary, S., Pitre, K.S. (2011) Adsorptive stripping voltammetric determination of podophyllotoxin, an antitumour herbal drug, at multi-walled carbon nanotube paste electrode. *J. Appl. Electrochem.* 41: 1311-1321.
- [2] Ensafi, A.A., Rezaei, B., Amini, M., Bafrooei, E.H. (2012) A novel sensitive DNA-biosensor for detection of a carcinogen, Sudan II, using electrochemically treated pencil graphite electrode by voltammetric methods. *Talanta* 88 : 244-251.
- [3] Heli, H., Faramarzi, F. and N. Sattarahmady (2010) Voltammetric investigation and amperometric detection of the bisphosphonate drug sodium alendronate using a copper nanoparticles-modified electrode. *J. Solid State Electrochem.* 14 : 2275-2283.
- [4] Topal, B.D., Kul, D., Ozkan, S.A., Uslu, B. (2011) Anodic behaviour of fulvestrant and its voltammetric determination in pharmaceuticals and human serum on highly boron-doped diamond electrode using differential pulse adsorptive stripping voltammetry. *J. Appl. Electrochem.* 41 : 1253-1260.
- [5] Dou, Y.H., Haswell, S. J., Greenman, J., Wadhawan, J. (2012) Voltammetric Immunoassay for the Detection of Protein Biomarkers. *Electroanalysis* 24 (2) : 264-272.
- [6] Setiyanto, H., Saraswaty, V., Hertadi, R., Noviandri, I., Buchari, B. (2011) Cyclic Voltammetric Study of Chlorambucil in The Presence of 4-Chloro Butyronitrile in Aqueous Solution. *Int. J. ChemTech Res.* 3 (4) : 1986-1992.
- [7] Setiyanto, H., Saraswaty, V., Hertadi, R., Noviandri, I., Buchari, B. (2011) Chemical Reactivity of Chlorambucil in Organic Solvents: Influence of 4-Chloro Butyronitrile Nucleophile to Voltammogram Profiles. *Int. J. Electrochem. Sci.* 6 : 2090-2100.

- [8] Tekiner, A., Yucel, D., Bayar, M.A., Yucel, O., Erdem, Y., Karakaya, J. (2011) The Effect of Nitrogen Mustard on the Enzymatic Antioxidant Defense of Rat Brain Tissue and the Therapeutic Value of Proanthocyanidin. *Turkish Neurosurgery* 21 (4) : 461-466.
- [9] Sharma, M., Vijayaraghavan, R., Agrawal, O.P. (2010) Comparative Toxic Effect of Nitrogen Mustards (HN-1, HN-2, and HN-3) and Sulfur Mustard on Hematological and Biochemical Variables and Their Protection by DRDE-07 and Its Analogues. *International Journal of Toxicology*, 29 (4) : 391-401.
- [10] Saffhill, R., Margison, G.P., O'Connor, P.J. (1985) Mechanisms of carcinogenesis induced by alkylating agents. *Biochim. Biophys. Acta.* 823 (2) : 111-145.
- [11] Sanderson, B.J., Shield, A.J. (1996) Mutagenic damage to mammalian cells by therapeutic alkylating agents. *Mutat. Res.* 355 : 41-57.
- [12] Nicholson, R.S., Shain, I. (1964) Theory of Stationary Electrode Polarography. Single Scan and Cyclic Methods Applied to Reversible, Irreversible, and Kinetic Systems. *Anal. Chem.* 36 (4) : 706-723.
- [13] Nicholson, R.S. (1965) Theory and Application of Cyclic Voltammetry for Measurement of Electrode Reaction Kinetics. *Anal. Chem.* 37 (11) : 1351-1355.
- [14] Nicholson, R.S. (1965) Semiempirical Procedure for Measuring with Stationary Electrode Polarography Rates of Chemical Reactions Involving the Product of Electron Transfer. *Anal. Chem.* 37 (11) : 1406.
- [15] Nicholson, R.S., Shain, I. (1965) Experimental Verification of an ECE Mechanism for the Reduction of p-Nitrosophenol, Stationary Electrode Polarography Using Stationary Electrode Polarography. *Anal. Chem.* 37 (2) : 190-195.

UJI TOKSISITAS EKSTRAK BUAH GEWANG (*CORYPHA UTAN* LAMK.) TERHADAP LARVA UDANG *ARTEMIA SALINA* LEACH

Leny Heliawati^{1,2}, Tri Mayanti², Agus Kardinan³, Rukmiati K Cokronegoro²

Universitas Pakuan, Bogor (Leny_heliawati@yahoo.com)

Pascasarjana Universitas Padjadjaran, Bandung

Balai Penelitian Obat dan Aromatik, Bogor

ABSTRAK

Masyarakat Nusa Tenggara Timur menggunakan buah gewang untuk meracuni ikan. Buah ini diduga dapat membuat ikan mabuk sehingga lebih mudah ditangkap nelayan. Fakta empiris ini mengindikasikan adanya senyawa toksik dalam buah gewang. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui fraksi buah gewang yang beraktivitas toksik terhadap larva udang. Metode penelitian yang digunakan adalah biji dan daging buah gewang dimaserasi dengan metanol secara terpisah, ekstrak metanol kemudian dipartisi menggunakan n-heksana, etil asetat dan air. Keempat ekstrak yang dihasilkan dari biji dan daging buah gewang diuji toksitasnya dengan metode BSLT (*Brine Shrimp Lethality Test*) pada konsentrasi 15,725; 31,25; 62,5; 125; 250; 500; 1000 ppm. Hasil uji toksisitas BSLT dianalisis dengan menggunakan EPA Probit *analysis* Program menunjukkan ekstrak n-heksan biji gewang merupakan ekstrak yang paling toksik dengan nilai LC₅₀ sebesar 197.154.

Kata Kunci: *Corypha utan* Lamk, LC₅₀, ekstraksi.

1 PENDAHULUAN

Masyarakat Nusa Tenggara Timur menggunakan buah gewang untuk meracuni ikan. Penelusuran literatur belum menemukan penjelasan mengenai senyawa toksik dari buah tumbuhan ini. Oleh karena itu penelitian mengenai senyawa toksik dari tumbuhan ini perlu dilakukan.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui toksisitas ekstrak buah gewang menggunakan metode *Brine Shrimp Lethality Test* (BSLT) melalui uji bioindikator terhadap larva udang (*Artemia salina* Leach.). Manfaat penelitian ini adalah mengetahui senyawa toksik dari ekstrak buah gewang dan mengetahui toksisitasnya sehingga dapat diketahui potensi efek farmakologinya ataupun potensinya sebagai pestisida alami. Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimental dengan menggunakan pendekatan *Post Test-Only Control Group Design* yang menggunakan teknik pengambilan sampel *Simple Random Sampling* terhadap larva *Artemia salina* Leach.

Brine Shrimp Lethality Test (BSLT) merupakan salah satu metode skrining untuk menentukan aktivitas toksik suatu ekstrak ataupun senyawa. Metode BSLT juga sering digunakan untuk bioassay dalam usaha mengisolasi senyawa toksik tersebut dari ekstrak. Metode ini seringkali dimaknai lebih dari sekedar uji toksisitas. Bila bahan yang diuji

memberikan efek toksik terhadap larva udang, maka hal ini merupakan indikasi awal dari efek farmakologi yang terkandung dalam bahan tersebut. Menurut Meyer *et al.*(1982)¹, beberapa penelitian menunjukkan bahwa *A. salina* memiliki korelasi positif terhadap ekstrak yang bersifat bioaktif, juga banyak digunakan dalam berbagai analisis biosistem seperti analisis terhadap residu pestisida, mikotoksin, polusi, senyawa turunan morfin, dan karsinogenik dari phorbol ester.

Penelitian Carballo dkk menunjukkan adanya hubungan yang konsisten antara toksisitas dan letalitas Brine shrimp pada ekstrak tanaman. Metode BSLT dapat dipercaya untuk menguji aktivitas farmakologis dari bahan-bahan alami. Apabila suatu ekstrak tanaman bersifat toksik menurut harga LC₅₀ dengan metode BSLT, maka tanaman tersebut dapat dikembangkan sebagai obat anti kanker. Namun, bila tidak bersifat toksik maka tanaman tersebut dapat diteliti kembali untuk mengetahui khasiat lainnya dengan menggunakan hewan coba lain yang lebih besar dari larva *Artemia salina* seperti mencit dan tikus secara *in vivo* (Carballo *et al.*, 2002)².

2 METODE PENELITIAN

2.1 Pengambilan Sampel dan Ekstraksi

Pengambilan sampel buah Gewang dilakukan di Daerah Buat, Soe Kabupaten Timor Tengah Selatan, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Sebanyak 3,9 kg buah Gewang segar dipotong kemudian dipisahkan antara biji dan daging buahnya. Biji dan daging buahnya dihancurkan dengan menggunakan mesin penggiling dan dimaserasi dengan menggunakan masing-masing 4 dan 3 liter pelarut metanol. Maserasi dilakukan selama 3 hari. Setelah 3 hari maserat dipisahkan dari ampas dengan cara penyaringan. Maserat dipekatkan dengan menggunakan *rotary evaporator* dengan tekanan vakum pada suhu $\pm 40^{\circ}\text{C}$ sehingga diperoleh ekstrak pekat metanol. Ekstrak ini kemudian dipartisi dengan pelarut *n*-heksana, etil asetat sehingga diperoleh ekstrak *n*-heksana, etilasetat dan air.

2.2 *Brine Shrimp Lethality Test* (BSLT)

2.2.1 Pembuatan Media Air Laut

Garam laut ditimbang sebanyak 28 gram, kemudian ditambahkan dengan akuades sebanyak 1 L dan diaduk hingga larut. Larutan garam laut 2,8% (b/v) ini kemudian disimpan sebagai larutan *stock* medium air laut atau yang lebih dikenal sebagai *artificial sea water*.

2.2.2 Pembibitan Larva Udang

Larutan *stock* dilarutkan dengan akuades dengan perbandingan 1:2 (v/v) pada gelas kimia 2 L. Larutan yang dihasilkan, kemudian ditambahkan telur *A. salina*. Selanjutnya, medium pembibitan disinari cahaya lampu yang cukup dan dialirkan udara dengan menggunakan alat tiup udara. Setelah 24-48 jam larva udang akan menetas dari telurnya dan berkumpul pada bagian yang paling dekat dengan sumber cahaya.

2.2.3 Pengujian Sampel

Sampel yang akan diuji dilarutkan dengan menggunakan pelarut metanol sehingga didapatkan larutan uji dengan berbagai variasi konsentrasi yang dikehendaki. Kemudian sampel-sampel uji tersebut diuapkan pelarutnya. Setiap sampel uji ditambahkan larva udang (*A. salina*) sebanyak 15 ekor dan ditambahkan larutan pemeliharaan sebanyak 2 mL. Larutan pemeliharaan yaitu larutan *stock* yang dilarutkan akuades dengan perbandingan 1:3 (v/v). Setiap variasi konsentrasi uji dilakukan tiga kali pengulangan. Setelah 24 jam, jumlah larva udang (*A. salina*) yang mati dihitung pada setiap botol vial uji. (Finney, 1971)³. Analisis Hasil Efek toksisitas dianalisis dari pengamatan dengan persen kematian.

$$\% \text{ larva kematian} = \frac{\text{jumlah larva yang mati}}{\text{jumlah larva uji}} \times 100\%$$

Data jumlah larva yang mati kemudian dianalisis dengan EPA *analysis* Probit Program.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Ekstraksi sampel

Buah tumbuhan *Corypha utan* Lamk yang didapat dari daerah Bu'at So'e Kabupaten Timor Tengah Selatan, Provinsi Nusa Tenggara Timur dihancurkan dengan mesin penggiling dan diperoleh sebanyak 3,9 kg. Biji dan daging buahnya dipisahkan dan dimaserasi secara terpisah. Massa biji 1,3 kg sedangkan buah 2,6 kg. Pemotongan sampel dilakukan agar dapat memperbesar luas permukaan dan memecah dinding sel sampel sehingga senyawa-senyawa kimia yang terkandung di dalamnya dapat terekstraksi secara maksimal.

Sampel yang telah dihancurkan kemudian diekstraksi dengan cara maserasi dengan pelarut metanol selama 3x24 jam pada suhu ruang. Pengekstraksian dilakukan untuk memaksimalkan ekstraksi sampel karena dengan jangka waktu tersebut filtrat metanol sudah berkurang warnanya, artinya pelarut maksimal dalam mengambil senyawa-senyawa dalam sampel. Penggunaan metanol dalam proses maserasi

dikarenakan metanol dapat melarutkan senyawa-senyawa polar dan nonpolar sehingga sangat baik untuk mengekstrak kandungan metabolit sekunder dalam tanaman (Cordell, 1981)⁴. Adapun pemilihan teknik maserasi sebagai metode ekstraksi dikarenakan senyawa-senyawa yang akan diisolasi belum diketahui karakteristik senyawanya, sehingga penggunaan ekstraksi bersuhu tinggi seperti sokletasi dihindari untuk mencegah terdekomposisi atau rusaknya senyawa-senyawa yang tidak tahan panas. Namun, maserasi memiliki kekurangan, yaitu prosesnya memerlukan waktu yang cukup lama dan pelarut yang lebih banyak bila dibandingkan dengan metode sokletasi.

Maserat kemudian disaring dan dipisahkan menggunakan *rotatory evaporator* pada tekanan rendah dan suhu 40°C sehingga diperoleh ekstrak pekat metanol biji dan buah. Teknik penguapan pelarut dengan evaporator ini dilakukan untuk mendapatkan ekstrak *n*-heksana, etil asetat, dan metanol pekat dengan cepat dan efisien. Evaporator dilengkapi pompa vakum atau *aspirator*, sehingga tekanan dalam sistem menjadi rendah. Pada tekanan yang rendah, titik didih suatu senyawa menjadi lebih rendah, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan pelarut menjadi lebih cepat. Penggunaan suhu 40°C bertujuan untuk mencegah dekomposisi senyawa yang terkandung dalam ekstrak.

Selanjutnya ekstrak pekat metanol dilarutkan dalam akuades dan dipartisi dalam corong pisah dengan menggunakan pelarut *n*-heksana sehingga didapatkan fraksi *n*-heksana dan fraksi air. Fraksi air dipartisi kembali menggunakan etil asetat sehingga dihasilkan fraksi etil asetat dan fraksi air. Penggunaan metode partisi dengan berbagai pelarut dengan tingkat kepolaran yang berbeda-beda dalam isolasi senyawa bertujuan untuk memisahkan senyawa-senyawa berdasarkan tingkat kepolarannya (Harbone, 1978)⁵. Fraksi-fraksi hasil partisi (*n*-heksana etil asetat dan air) diuapkan pelarutnya dengan menggunakan *rotary evaporator*. Hasil ekstraksi buahgewang seperti tertera dalam tabel 1

Table 1 Hasil ekstraksi dari buah gewang

Sampel (kg)	Massa Ekstrak Metanol (g)	Massa Fraksi (g)		
		<i>n</i> -heksana	etilasetat	air
Biji (1,3)	21,99	1,57	0,83	14,08
Daging buah (2,6)	261,51	12,89	0,95	243,68

3.2 *Bhrine Shrimp Lethality Test (BSLT)*

Metode *BSLT* ini digunakan untuk memantau adanya aktivitas toksik dari suatu ekstrak tanaman. Larva udang (*A. salina*) merupakan hewan avertebrata yang sangat sensitif dengan lingkungan sekitarnya, sehingga sangat cocok sebagai hewan uji aktivitas toksik. Selain itu, permukaan kulit *A. salina* yang sangat tipis sehingga mudah dimasuki oleh zat-zat tertentu. Senyawa yang bersifat toksik akan masuk ke dalam tubuh *A. salina* melalui kulitnya, karena kulitnya yang begitu halus dan berfungsi sebagai alat pernapasannya.

Sebagai panduan untuk tahapan selanjutnya, maka dilakukan uji toksisitas terhadap ekstrak ekstrak *n*-heksana, etil asetat, dan ekstrak metanol, sehingga diketahui ekstrak mana yang mengandung senyawa aktif yang bersifat toksik. Aktivitas toksik diukur dengan metode *BSLT*. Bioindikator yang digunakan adalah *A. salina*. Metode *BSLT* dipilih sebagai pemandu bioaktivitas karena metodenya cepat, sederhana dan efektif (Steven, 1993)⁶. Selain itu juga, pada penelusuran literatur didapatkan informasi tentang korelasi aktivitas toksik terhadap larva udang (*A. salina*) dengan beberapa aktivitas farmakologi lainnya seperti antibakteri, antijamur, antikanker dan beberapa aktivitas lainnya (Babajide *et al.*, 2008)⁷.

Ekstrak metanol, *n*-heksana, etilasetat dan air dibuat dengan konsentrasi 15,725; 31,25; 62,5; 125; 250; 500; 1000 ppm untuk uji toksisitas. Pelarutnya diuapkan hingga kering kemudian dimasukkan larva udang yang sudah berumur 24 jam sebanyak 15 ekor. Setelah itu dimasukkan larutan pemeliharaan sampai 2 ml. Larutan uji dibiarkan selama 24 jam, kemudian dihitung jumlah larva udang yang mati dan dihitung persentase mortalitasnya dari setiap ekstrak. Hasil penelitian toksisitas dalam berbagai ekstrak dari biji dan buah gawang diperlihatkan dalam tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Presentasi kematian larva udang ekstrak biji gewang

Sampel	Persentasi kematian larva udang						
	1000	500	250	125	62,5	31,25	15,725
MeOH	33,3	26,67	13,33	13,33	13,33	6,67	6,67
Heksan	20	40	20	0	33,3	0	26,67
EtoAc	86,67	86,67	46,67	46,67	33,3	26,67	26,67
H ₂ O	40	33,3	33,3	26,67	20	20	20

Tabel 2. Presentasi kematian larva udang ekstrak daging buah gewang

Sampel	Persentasi kematian larva udang						
	1000	500	250	125	62,5	31,25	15,725
MeOH	33,3	26,67	20	33,3	20	60	40
Heksan	93,33	80	60	46,67	20	46,67	13,33
EtoAc	86,67	60	33,3	40	40	40	20
H ₂ O	40	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	20

Tabel 3. Nilai LC₅₀ dari biji dan daging buah gewang

Ekstrak	Nilai IC ₅₀	Ekstrak	Nilai IC ₅₀
Biji gewang		Daging buah	
Metanol	2.704.648	Metanol	2.032
n-heksana	197.154	n-heksana	17226.119
Etil asetat	232.416	Etil asetat	341.002
air	232.416	air	6977.165

Berdasarkan analisis hasil uji toksisitas, ekstrak n-heksana biji menunjukkan ekstrak yang paling toksik dengan nilai LC₅₀ sebesar 197.154.

4 SIMPULAN

Eksrak n-heksan biji geawng merupakan ekstrak yang paling toksik dibandingkan ekstrak yang lain dengan nilai LC₅₀ sebesar 197.154.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Meyer, B.N., N.R. Ferrighni, J.E. Putnam, L.B. Jacobson, D.E. Nichols and J.L. McLaughlin, 1982. Brine Shrimp: A Convenient General Bioassay for Active Plant Constituent. *Planta Medica*. 45 : 31-34.
- [2] Carballo JL, Hernandez-Inda ZL, Perez P, Garcia-Gravaloz MD. 2002. Comparison between two brine shrimp assays to detect in vitro cytotoxicity in marine natural products. *BMC Biotechnology*, 2:1472-6570.
- [3] Finney, D.J. 1971. *Probit Analysis*. 3rd edition. Cambridge University Press.
- [4] Cordell, G.A. 1981. *Introduction to Alkaloid A Biogenetic Approach*. Jhon Willey and Sons, Inc. New York. 890-907.
- [5] Harborne, J. B., 1996. *Metode Fitokimia*, ITB, Bandung.
- [6] Steven, M.C. 1993. *Bioactive Natural Product : Detection, isolation, anti Structural Determination*, CRC Press.
- [7] Babajide, O.J., Babajide, O.O., Daramola, A.O., & Mabusela, W.T. 2008. Flavonols sand an oxychromonol from *Piliostigma reticulatum*. *Phytochemistry*, **69**, 2245-2250

PENGGUNAAN BIJI KELOR (*MORINGA OLIEFERA*) UNTUK MENURUNKAN KADAR MANGAN DALAM AIR

Muhammad Ali Zulfikar^{1*}, Novi Srawaili²

KK Kimia Analitik, Institut Teknologi Bandung, Bandung^{1*}
zulfikar@chem.itb.ac.id
MAN Kalianda, Bandar Lampung²

ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan studi penggunaan biji kelor (*Moringa oleifera*) untuk menurunkan kadar mangan dalam air. Proses koagulasi dilakukan menggunakan sistem *batch* dengan variasi pH, konsentrasi biji kelor serta konsentrasi ion mangan dalam larutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan maksimum kadar ion mangan terjadi pada pH 6 dan pada konsentrasi kelor sebesar 1,100 gram. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penurunan kadar mangan maksimum terjadi pada konsentrasi mangan 8 ppm.

Katakunci: kelor, koagulasi, mangan

1 PENDAHULUAN

Air bersih merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat penting bagi manusia. Penduduk yang tinggal di daerah dataran rendah menghadapi kesulitan dalam memperoleh air bersih untuk keperluan rumah tangga, terutama air minum. Hal ini disebabkan sumber air di daerah tersebut mengandung kadar mangan yang tinggi, sehingga berdasarkan parameter baku mutu air tersebut tidak memenuhi persyaratan kualitas air bersih. Salah satu metoda penghilangan kadar mangan dalam air adalah dengan cara menambahkan suatu zat yang dinamakan koagulan [1].

Pada metoda konvensional proses koagulasi menggunakan bahan kimia sebagai pengkoagulasi, seperti $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 , dan FeCl_3 , AlCl_3 , CaO , PAC, dodesilamin, dan lain-lain. Dari hasil penelitian ditemukan bahwa penggunaan bahan kimia seperti aluminium di industri pengolahan air dan air limbah dapat menyebabkan penyakit [2,3], bisa meracuni kehidupan air, menghasilkan volume lumpur yang besar [4], efisiensinya rendah [5] dan mahal [2,4,5]. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian dalam penggunaan bahan non-kimia sebagai bahan koagulan alternatif untuk pengolahan air dan air limbah. Penelitian ini mencoba menggunakan biji kelor (*Moringa oleifera*) untuk menurunkan kadar mangan dalam air. Secara kimia biji kelor (*Moringa oleifera*) mengandung protein yang dapat larut dalam air dan bersifat seperti polielektrolit, dan bermuatan positif [2], sehingga dapat digunakan sebagai koagulan.

Penelitian ini bertujuan untuk menggunakan biji kelor (*Moringa oleifera*) untuk menurunkan kadar mangan dalam air. Proses koagulasi dilakukan dengan memvariasikan pH larutan, konsentrasi koagulan serta konsentrasi ion mangan dalam larutan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

2.2.1. Alat yang digunakan

Alat-alat gelas umum, *magnetik stirrer dan hotplate (Termolyne, Myrak)*, alat sentrifuga (*Fisher Scientific*), pH meter, ayakan ukuran *25 mesh*, neraca analitik, dan spektrofotometer serapan atom (AAS).

2.2.2. Bahan yang digunakan

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini antara lain biji kelor (*Moringa oleifera*), mangan nitrat ($\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), amonium hidroksida (NH_4OH), asam klorida (HCl) dan aqua dm.

2.2 Metoda

2.2.1. Pengaruh pH

Ke dalam 8 gelas kimia, dimasukkan masing-masing larutan sampel dengan kadar mangan sebesar 10 ppm sebanyak 500 mL. Kemudian ke dalam larutan tersebut dimasukkan masing-masing biji kelor (*Moringa oleifera*) sebanyak 2 gram yang berukuran 25 mesh. pH masing-masing larutan diatur dengan menambahkan NH_4OH atau HCl, sehingga diperoleh variasi pH 1 – 8. Campuran kemudian diaduk dengan *magnetik stirrer* dengan kecepatan 100 rpm selama 5 menit dan selama 10 menit dengan alat jar test. Campuran kemudian didiamkan selama 1 jam. Absorbansi filtrat diukur dengan menggunakan spektrofotometer AAS. Nilai absorbansinya dibandingkan terhadap standar larutan mangan yang telah dibuat sebelumnya.

2.2.2. Pengaruh massa koagulan

Untuk melihat pengaruh massa koagulan terhadap penurunan kadar mangan, dilakukan eksperimen berikut. Ke dalam 10 gelas kimia, dimasukkan masing-masing larutan sampel dengan kadar mangan sebesar 10 ppm sebanyak 500 mL. Kemudian ke dalam larutan tersebut dimasukkan masing-masing biji kelor (*Moringa oleifera*) yang

berukuran 25 mesh dengan massa 1,000; 1,050; 1,100; 1,150; 1,200; 1,250; 1,300; 1,350; 1,400 dan 1,450 gram. Pengerjaan selanjutnya sama seperti pada bagian 2.2.1.

2.2.3. Pengaruh konsentrasi mangan

Untuk melihat pengaruh konsentrasi larutan sampel terhadap penurunan kadar mangan, dilakukan eksperimen berikut. Ke dalam 10 gelas kimia, dimasukkan masing-masing larutan sampel dengan kadar mangan antara 1 – 10 ppm sebanyak 500 mL. Kemudian ke dalam larutan tersebut dimasukkan biji kelor (*Moringa oleifera*) yang berukuran 25 mesh dengan massa optimum yang telah diperoleh sebelumnya. Pengerjaan selanjutnya sama seperti pada bagian 2.2.1.

Besarnya penurunan (%) dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\% \text{ penurunan} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

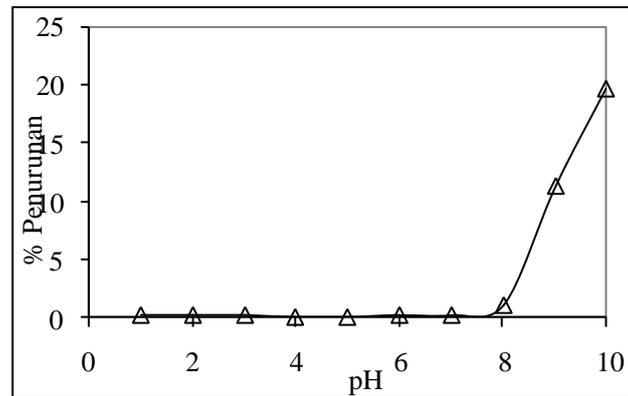
(1)

di mana C_o dan C_e adalah konsentrasi sampel sebelum dan setelah proses koagulasi.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

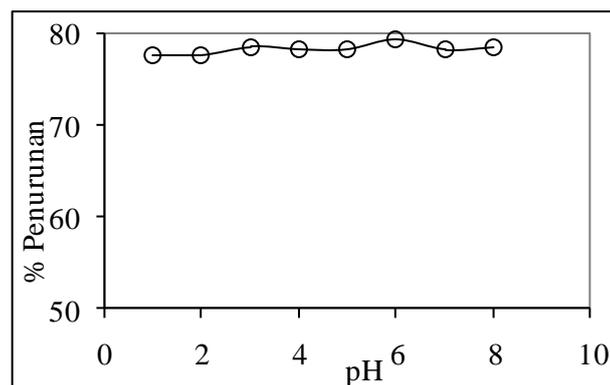
3.1 Pengaruh pH larutan

Salah satu faktor yang mempengaruhi proses koagulasi adalah pH [4,6]. Pada penelitian ini dilakukan terlebih dahulu eksperimen pengaruh pH terhadap penurunan kadar mangan dalam air tanpa perlakuan pemberian kelor (*Moringa oleifera*), sehingga didapat batasan pH yang tidak mempengaruhi penurunan kekeruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pH 1 - 8 tidak terjadi penurunan kadar mangan dalam sampel air, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Pada batasan pH tersebut dilakukan eksperimen untuk melihat pengaruh pH terhadap penurunan kadar mangan oleh koagulan biji kelor (*Moringa oleifera*), dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1 Kurva penurunan kadar mangan pada berbagai pH tanpa penambahan biji kelor.

Dari Gambar 2 tersebut dapat dilihat bahwa penurunan kadar mangan maksimum terjadi pada pH 6. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, kelor (*Moringa oleifera*) yang berasal dari biji kandungan utamanya adalah protein, dimana jika biji kelor (*Moringa oleifera*) dilarutkan dalam air pada pH 6 akan terbentuk polimer yang bermuatan positif. Sebagai suatu polielektrolit, kemungkinan penurunan kadar mangan dalam air tersebut berjalan melalui mekanisme adsorpsi dan ikatan antar-partikel [7,8]. Kemungkinan lainnya adalah penurunan kadar mangan oleh biji kelor (*Moringa oleifera*) disebabkan karena terjadinya interaksi antara ion mangan dengan gugus karbonil dan amina dari protein yang terdapat dalam biji kelor [9].



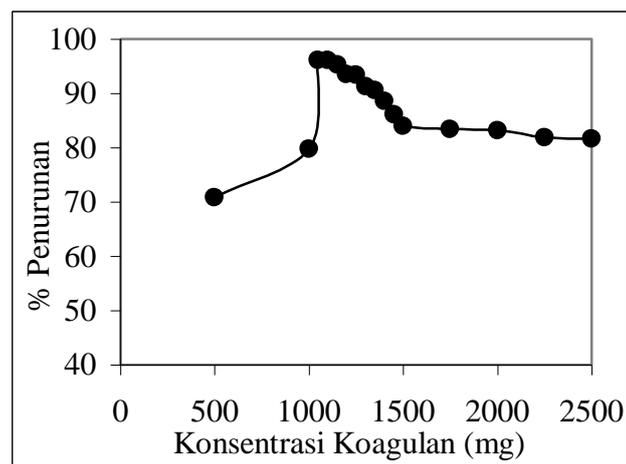
Gambar 2 Kurva penurunan kadar mangan pada berbagai pH dengan penambahan biji kelor.

3.2 Pengaruh konsentrasi koagulan

Pengaruh konsentrasi koagulan terhadap penurunan kadar mangan dalam air dapat dilihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3, dapat dilihat bahwa penurunan mangan dalam air maksimum terjadi pada konsentrasi koagulan sebesar 1,100 gram. Dari Gambar 3 tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi biji kelor yang ditambahkan, maka penurunan kadar mangan dalam air semakin menurun. Hal ini disebabkan karena penambahan koagulan berlebih dapat menyebabkan terjadinya kegagalan atau lambatnya pembentukan flok [4]. Kegagalan ini menyebabkan kapasitas adsorpsi biji kelor terhadap ion mangan menurun, sehingga penurunan kadar mangan dalam air menurun. 11 pt. Untuk tabel yang cukup besar, jenis huruf isi tabelnya nya dapat diganti menjadi 10 pt. Perhatikan beberapa contoh tabel berikut.

3.3 Pengaruh konsentrasi ion mangan dalam larutan

Pengaruh konsentrasi mangan terhadap penurunan kadar mangan dalam air dapat dilihat pada Gambar 4. Dari Gambar 4, dapat dilihat bahwa penurunan kadar mangan maksimum terjadi pada konsentrasi mangan sebesar 8 ppm. Dari Gambar 4 tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi mangan yang digunakan, maka penurunan kadar mangan juga semakin menurun.



Gambar 3 Pengaruh konsentrasi koagulan terhadap penurunan kadar mangan dalam air.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa mekanisme penurunan kadar mangan dalam air tersebut melalui adsorpsi dan interaksi antara ion mangan dengan

gugus karbonil dan amina. Pada konsentrasi mangan 8 ppm, kapasitas adsorpsi dan pengikatan ion mangan dari polielektrolit biji kelor tersebut sudah maksimum. Dengan meningkatnya kadar mangan dalam air, kapasitas adsorpsi dan pengikatan ion mangan dari polielektrolit biji kelor sudah terlampaui, sehingga tidak mampu mengadsorpsi atau mengikat ion mangan yang tersisa, sehingga penurunan kadar mangan dalam air menjadi berkurang.

4 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa biji kelor (*Moringa oleifera*) dapat digunakan untuk menurunkan kadar mangan dalam air. Dari hasil studi koagulasi, terlihat bahwa penurunan kadar mangan dalam air dipengaruhi oleh pH, konsentrasi koagulan serta konsentrasi ion mangan dalam air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kadar mangan maksimum terjadi pada pH 6, konsentrasi bijih kelor sebesar 1,100 gram dan konsentrasi mangan sebesar 8 ppm.

PUSTAKA

- [1] Efendi. 2003. Telaah Kualitas Air. Karnisius, Yogyakarta, 59-165.
- [2] Amagloh FK, Benang A. 2009. Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as coagulant for water purification. *African Journal of Agricultural Research* 4 (1): 119-123.
- [3] Ndabigengesere A, Narasiah K.S. 1998. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Water Research* 35 (16): 781-791.
- [4] Othman Z, Bhatia S, Ahmad A.L. 2008. Influence of settleability parameters for palm oil mill effluent (POME) pretreatment by using *Moringa oleifera* seeds as an environmental friendly coagulant. *International Conference on Environment (ICENV 2008)*: 1-9.
- [5] Haarhoff J, Cleasby J.L. 1988. Comparing aluminium and iron coagulants for in-line filtration of cold water. *Journal American Water Works Association* 88 (4): 168-175.
- [6] Underwood. 1996. Analisis Kimia Kuantitatif. Edisi 5. Erlangga, Jakarta.
- [7] LaMer V.K, Healy T.W. 1963. Adsorption-flocculation reactions of macromolecules at the solid-liquid interface. *Review of Applied Chemistry* 13: 112-132.

- [8] Muyibi S.A, Evison L.M. 1995. *Moringa oleifera* seeds for softening hardwater. *Water Research* 29, (4): 1099-1105.
- [9] Darmono. 1995. Logam dalam Sistem Biologi MakhluK Hidup. UI Press, Jakarta, 140.

FOSFATISASI KALSIMUM KARBONAT CANGKANG TELUR AYAM DAN KAJIANNYA PADA PROSES ADSORPSI LOGAM TIMBAL

Charlena¹⁾, Henny Purwaningsih¹⁾, Rahmat Hafid¹⁾

¹⁾Departemen Kimia FMIPA IPB

ABSTRAK

Fosfatisasi merupakan teknik umum untuk mereaksikan fosfat dengan kalsium dalam pembuatan senyawaan apatit. Cangkang telur ayam dapat digunakan sebagai sumber kalsium untuk menghasilkan kalsium karbonat dan senyawaan apatit. Selain dapat digunakan untuk keperluan medis, senyawa karbonat dan senyawa apatit juga dapat diaplikasikan untuk keperluan non-medis, misalnya sebagai adsorben. Isolasi kalsium karbonat diperoleh dari pemanasan cangkang telur ayam pada suhu 500 °C selama 2 jam. Fosfatisasi kalsium karbonat menggunakan asam fosfat 85% dengan nisbah konsentrasi Ca:P sebesar, 3:2, 4:3, dan 1:1 yang menghasilkan senyawaan apatit seperti trikalsium fosfat (TKP), oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat (OKHP), dan kalsium hidrogen fosfat (KHP). Evaluasi kinerja adsorben kalsium karbonat dan senyawaan apatit menunjukkan bahwa kalsium karbonat memiliki persen adsorpsi logam timbal yang tinggi (97.37%) dibandingkan TKP, OKHP, dan KHP (82.59%, 29.64%, dan 21.54%). Fosfatasi senyawa karbonat akan menghambat adsorpsi ion Pb^{2+} dalam larutan. Semakin banyak jumlah fosfat yang ditambahkan, maka akan menurunkan persen adsorpsi dan kapasitas adsorpsi.

Kata kunci: fosfatisasi, cangkang telur ayam, kalsium karbonat, adsorpsi.

1 PENDAHULUAN

Aktivitas industri banyak menimbulkan masalah pencemaran lingkungan, terutama pencemaran perairan. Berbagai konsentrasi ion logam berat yang terlarut dalam limbah industri dapat merusak lingkungan dan menyebabkan gangguan kesehatan. Logam berat yang sering ditemukan dalam limbah industri, di antaranya Pb(II), Cu(II), Fe(II), dan Cr(III) [4]. Logam Pb merupakan salah satu logam berat yang dapat terakumulasi pada organ dalam manusia dan hewan, bersifat toksik, serta mengakibatkan berbagai penyakit serius. Timbal terakumulasi di lingkungan dan tidak dapat terurai secara biologis. Timbal bersifat toksik jika terhirup atau tertelan oleh manusia dan di dalam tubuh akan beredar mengikuti aliran darah, diserap kembali oleh ginjal dan otak, dan disimpan di dalam tulang dan gigi [3].

Baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001, untuk kandungan logam Pb pada kategori kelas 1 (air baku air minum, rekreasi air, perikanan air tawar, peternakan, dan pertanian) adalah 0.03 ppm, sedangkan baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 adalah

0.005 ppm untuk kandungan logam terlarut maksimum Pb dalam perairan laut. Oleh karena itu, upaya menurunkan konsentrasi logam tersebut di lingkungan merupakan salah satu usaha yang sangat penting dilakukan saat ini. Berbagai upaya dilakukan dalam penanggulangan masalah logam berat seperti metode fotoreduksi, penukaran ion (resin), pengendapan, elektrolisis, dan adsorpsi [3]. Salah satu metode yang mudah dan ramah lingkungan adalah metode adsorpsi dengan menggunakan adsorben sebagai penjerap logam berat.

Beberapa adsorben telah ditemukan sebagai penjerap logam berat, di antaranya tanah liat, karbon aktif, mineral seperti geotit, hidroksiapatit, dan kalsium karbonat [3]. Penelitian kalsium karbonat dan hidroksiapatit sebagai penjerap logam berat telah dilakukan sebelumnya pada logam timbal dengan kapasitas adsorpsi tertinggi penjerapan timbal sebesar 94.3 mg/g pada karbonat hidroksiapatit (CHAp) [5] dan 268 mg/g pada kalsium karbonat [1]. Hal ini menunjukkan bahwa karbonat hidroksiapatit memiliki penjerapan yang lebih rendah dibandingkan dengan kalsium karbonat. Penelitian Adekola *et al.* [1] menggunakan kalsium karbonat sintesis sebagai adsorben, sedangkan Liao *et al.* [5] melakukan pembuatan karbonat hidroksiapatit dengan nisbah Ca:P 1.67 yang digunakan untuk penjerapan logam timbal. Akan tetapi, Liao *et al.* [5] tidak melihat pengaruh keberadaan fosfat dalam senyawa apatit tersebut. Senyawa apatit dapat berbentuk hidroksiapatit, trikalsium fosfat, oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat, kalsium hidrogen fosfat, dan sebagainya. Keberadaan senyawa apatit bergantung pada nisbah kalsium dan fosfat dalam reaksi pembentukan. Penelitian ini mengisolasi kalsium karbonat yang berasal dari sumber alam yaitu cangkang telur ayam dan mereaksikannya dengan asam fosfat menggunakan nisbah Ca:P 1.5, 1.33, dan 1. Selanjutnya, dilihat pengaruh ragam Ca:P dengan jumlah fosfat yang berbeda terhadap penjerapan logam timbal.

Kalsium karbonat yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari cangkang telur ayam yang difosfatisasi dengan menggunakan H_3PO_4 . Produk hasil fosfatisasi kalsium karbonat adalah trikalsium fosfat (TKP), oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat (OKHP), dan kalsium hidrogen fosfat (KHP) dengan nisbah Ca:P yang berbeda-beda. Perbedaan nisbah Ca:P yang dihasilkan sangat bergantung pada penambahan ion fosfat. Sintesis senyawa apatit dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu cara kering dan cara basah. Dalam penelitian ini, sintesis senyawa TKP, OKHP, dan KHP menggunakan metode basah, yaitu presipitasi. Keuntungan metode presipitasi adalah mudah mengatur komposisi dan sifat fisik dari senyawa apatit, murah, dan mudah penggunaannya [8].

Penelitian ini bertujuan mendapatkan senyawa kalsium karbonat dan 3 jenis senyawa apatit, yaitu TKP, OKHP, dan KHP dari cangkang telur ayam serta mempelajari pengaruh penambahan fosfat pada kalsium karbonat terhadap penyerapan ion Pb^{2+} dalam air.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan terdiri atas beberapa tahap. Tahap pertama adalah melakukan isolasi kalsium karbonat dari cangkang telur ayam, Tahap kedua adalah melakukan sintesis senyawa apatit dengan cara mereaksikan kalsium karbonat dengan asam fosfat dengan nisbah tertentu untuk menghasilkan TKP, OKHP, dan KHP, Tahap berikutnya adalah melakukan pencirian terhadap produk yang dihasilkan (kalsium karbonat dan senyawaan apatit) menggunakan difraksi sinar-X (XRD). Selanjutnya, semua produk yang dihasilkan dievaluasi kinerjanya terhadap penyerapan ion Pb^{2+} dan dipelajari pengaruh penambahan fosfat pada kalsium karbonat terhadap kemampuan penyerapannya.

2.1 Kalsinasi Cangkang Telur Ayam

Cangkang telur ayam dibersihkan dari kotoran dan membran cangkang dengan cara dicuci menggunakan air bersih dan dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven bersuhu 110 °C selama 1 jam. Cangkang telur yang telah bersih di tumbuk menggunakan mortar hingga halus dengan ukuran 200 mesh. Cangkang telur lalu dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 2 jam untuk menghilangkan residu pengotor yang masih tertinggal hingga akhirnya diperoleh kalsium karbonat yang berwarna putih. Pencirian dilakukan pada serbuk cangkang telur ayam awal untuk mengetahui kandungan kalsiumnya, kemudian pencirian menggunakan XRD dilakukan terhadap serbuk cangkang telur ayam hasil kalsinasi untuk memastikan terbentuknya senyawa kalsium karbonat.

2.2 Penentuan Kadar Kalsium

Sebanyak 0.1 g sampel serbuk cangkang telur dilarutkan dalam 1 mL HNO_3 pekat kemudian diencerkan dengan akuades hingga volumenya mencapai 100 mL. Sampel kalsium karbonat dipipet sebanyak 1 mL dan diencerkan hingga volume 100 mL. Penentuan kadar kalsium dilakukan sebanyak 3 kali ulangan. Deret standar $CaCO_3$ disiapkan dengan cara yang sama menggunakan deret konsentrasi 0, 2, 4, 8, 12, dan 16 ppm. Sampel dan deret standar yang telah siap kemudian diukur menggunakan *atomic adsorption spectrophotometer* (AAS).

2.3 Fosfatisasi Kalsium Karbonat

Kalsium karbonat hasil kalsinasi dari cangkang telur ayam direaksikan dengan asam fosfat dengan nisbah konsentrasi Ca:P sebanyak 3:2, 4:3, dan 1:1. Kalsium karbonat tanpa fosfatisasi digunakan sebagai pembanding. Kalsium karbonat ditimbang sebanyak 2.1000 g, 1.8620 g, 1.4000 g, dan 2.0000 g. Serbuk kalsium karbonat cangkang telur ayam dilarutkan dalam 25 mL etanol 96% kemudian masing-masing dicampurkan dengan 1.5 mL H₃PO₄ 85 % dalam 25 mL etanol 96% dan untuk kalsium karbonat pembanding tidak dicampurkan H₃PO₄ 80%.

Proses ini berlangsung dengan peneteskan menggunakan buret. Bersamaan dengan peneteskan dari buret, larutan diaduk dengan kecepatan pengadukan 300 rpm pada suhu 37 °C. Proses dilanjutkan dengan didiamkan (*aging*) pada suhu ruang selama 24 jam dalam wadah tertutup aluminium foil. Sampel hasil *aging* dihomogenisasi dengan cara diaduk menggunakan pengaduk magnetik pada suhu 60 °C hingga terbentuk bubuk. Selanjutnya sampel dikeringkan pada suhu 1000 °C selama 7 jam untuk sampel Ca:P = 3:2, suhu 100 °C selama 3 jam untuk sampel Ca:P = 4:3, dan suhu 100 °C selama 1 jam untuk Ca:P = 1:1. Sampel kering selanjutnya disaring dengan saringan berukuran 200 mesh.

2.4 Pencirian Produk

Pencirian produk yang dihasilkan menggunakan XRD untuk mengetahui fase yang terkandung di dalam produk tersebut. Alat XRD yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut: Shimidzu XRD 7000 dengan sumber target CuK α ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$). Sampel disiapkan sebanyak 2 gram, kemudian dimasukkan dalam kompartemen sampel yang berukuran 2x2 cm² pada difraktometer dengan kecepatan baca 2° per menit. Hasil yang diperoleh berupa difraktogram yang menunjukkan fase yang terdapat dalam sampel. Difraktometer sampel selanjutnya dibandingkan dengan data *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) untuk mendapatkan informasi jenis fase yang terdapat dalam sampel.

2.5 Penjerapan Ion Timbal

Sebanyak 0.2 g sampel masing-masing dimasukkan ke botol plastik. Larutan stok Pb(NO₃)₂ 5 ppm dimasukkan ke setiap botol sebanyak 25 mL. Botol dikocok selama 1 jam dan dibiarkan selama 24 jam agar terjadi kesetimbangan pada suhu ruang. Suspensi dipisahkan menggunakan sentrifus pada kecepatan 5000 rpm selama 20 menit. Hasil pemisahan disaring menggunakan kertas saring Whatman untuk mendapatkan supernatan.

Selanjutnya, supernatan diukur kandungan timbalnya menggunakan AAS. Penjerapan timbal dihitung berdasarkan selisih antara konsentrasi awal (C_0) dan konsentrasi saat kesetimbangan/akhir (C_a) tercapai. Selanjutnya persentase adsorpsi dan kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan persamaan,

$$\% \text{Adsorpsi} = \frac{C_x}{C_0} \times 100\%$$

$$Q = \frac{V(C_0 - C_a)}{m}$$

Keterangan:

Q = kapasitas adsorpsi per bobot sampel (mg/g)

V = volume larutan (mL)

C_0 = konsentrasi awal larutan (ppm)

C_a = konsentrasi akhir larutan (ppm)

C_x = konsentrasi terjerap larutan (ppm)

m = massa sampel (g)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Isolasi Kalsium Karbonat dari Cangkang Telur Ayam

Secara umum struktur cangkang telur terdiri atas tiga lapisan, yaitu lapisan kutikula, lapisan spons, dan lapisan lamelar. Lapisan kutikula merupakan permukaan terluar yang mengandung sejumlah protein. Lapisan spons dan lamelar membentuk matriks yang dibentuk oleh serat protein yang terikat oleh kalsium karbonat. Cangkang telur mewakili 11% dari total bobot telur dan tersusun oleh kalsium karbonat (94%), kalsium fosfat (1%), material organik (4%), dan magnesium karbonat (1%) [9].

Penelitian ini menggunakan cangkang telur ayam untuk mendapatkan komponen dominan dalam cangkang telur, yaitu CaCO_3 . Selanjutnya, kalsium karbonat yang diperoleh dimanfaatkan secara langsung dan sebagian lagi dijadikan bahan baku untuk membuat senyawaan apatit yang akan digunakan sebagai penjerap logam Pb^{2+} dalam air. Cara sederhana dan yang umum digunakan untuk mendapatkan CaCO_3 adalah dengan memberi perlakuan pada suhu tinggi. Pembakaran menggunakan suhu tinggi dimaksudkan untuk menghilangkan komponen senyawa pengotor lainnya yang dalam cangkang telur tersebut.

Penelitian Rivera *et al.* [9] menunjukkan bahwa pemanasan cangkang telur pada suhu 450 °C selama 2 jam akan menghilangkan residu magnesium karbonat serta protein

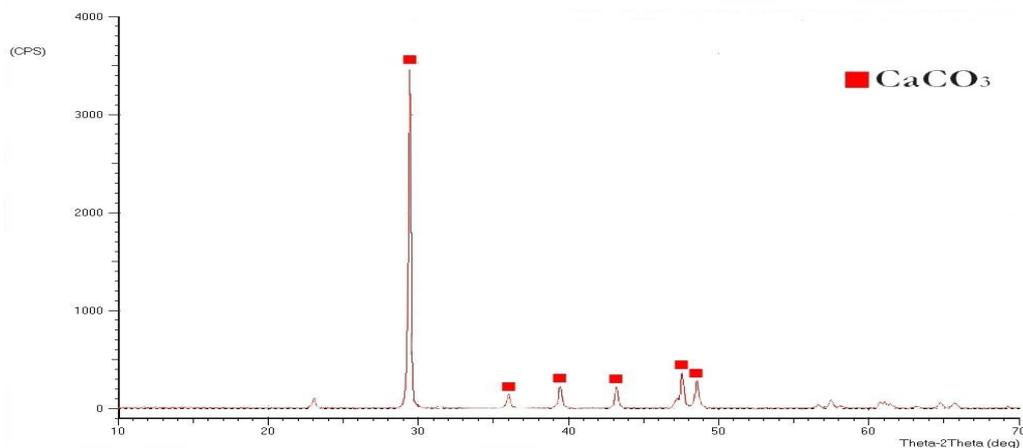
lainnya. Singh dan Mehta (2012) telah melakukan analisis *differential thermal analysis/thermogravimetric analysis* (DTA/TGA) untuk mengetahui dekomposisi termal dari fase yang terdapat pada cangkang telur. Hasil yang diperoleh Singh dan Mehta [10] menunjukkan bahwa antara suhu 750 ° dan 900 °C terjadi penurunan bobot sebesar 39.76% dengan puncak endotermik pada TGA. Pada rentang suhu ini hampir semua kalsium karbonat terurai menjadi kalsium oksida dengan puncak maksimum pada 850 °C. Selanjutnya menunjukkan terjadinya sedikit penurunan bobot karena adanya penguraian sisa kalsium karbonat.

Sigh dan Mehta [10] melakukan kalsinasi cangkang telur dari rentang suhu 400 ° hingga 625 °C dan suhu 650 ° hingga 1000 °C. Pada kalsinasi suhu 400 ° hingga 625 °C diperoleh senyawa kalsium karbonat. Jadi, CaCO_3 merupakan komponen utama pada cangkang telur yang diperoleh di bawah suhu 650 °C. Berdasarkan hasil penelitian Sigh dan Mehta (2012) tersebut, suhu yang digunakan pada saat kalsinasi cangkang telur ayam adalah 500 °C. Diharapkan pada suhu tersebut diperoleh CaCO_3 .

Difraktogram yang dihasilkan oleh Sigh dan Mehta [10], pada suhu kalsinasi yang tinggi, yaitu 650 ° hingga 1000 °C menunjukkan puncak untuk CaCO_3 dan Ca(OH)_2 . Peningkatan suhu pada kisaran suhu tersebut mengakibatkan berkurangnya CaCO_3 . Puncak untuk CaCO_3 sudah tidak nampak pada suhu di atas 750 °C sementara pada suhu ini akan nampak puncak untuk Ca(OH)_2 . Hal ini terjadi karena dekomposisi CaCO_3 menghasilkan CaO yang selanjutnya, menyerap air dari permukaan udara dan membentuk Ca(OH)_2 .

Kadar Ca pada cangkang telur ditentukan menggunakan AAS, kadar kalsium yang didapatkan sebesar 66.42% (Lampiran 2), sedangkan penelitian Trianita [13] menunjukkan kadar kalsium cangkang kerang darah sebesar 44.39%. Hal ini membuktikan bahwa kadar kalsium pada cangkang telur ayam lebih besar daripada cangkang kerang darah. Pencirian sampel yang dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 2 jam dilakukan menggunakan XRD Shimadzu 7000 dengan rentang pembacaan sudut 2 θ dari 10-70.

Hasil kalsinasi cangkang telur pada suhu 500 °C menunjukkan adanya kalsium karbonat (CaCO_3) (Gambar 1). Interpretasi terhadap difraktogram dilakukan dengan membandingkan data dengan JCPDS 05-0586. Hasil puncak sudut 2 θ yang diperoleh ialah 29.4386, 36.0411, 39.4602, 43.2016, 47.5658, dan 48.5684 (Lampiran 3).



Gambar 1 Pola difraksi sinar-X kalsinasi cangkang telur pada suhu 500 °C selama 2 jam

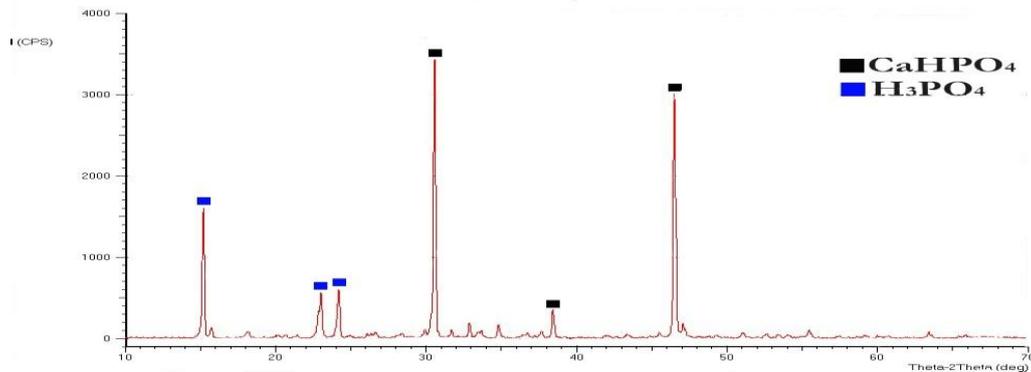
Puncak-puncak yang memiliki lebar puncak yang mengecil menunjukkan bahwa fase amorf semakin berkurang dan fase kristal semakin banyak terbentuk, sedangkan puncak-puncak dengan intensitas sangat kecil tidak diambil karena dianggap sebagai derau [2].

3.2 Fosfatasi Kalsium Karbonat

Sintesis senyawa kalsium fosfat seperti hidroksiapatit dapat dibagi menjadi 2 metode, yaitu metode kering dan metode basah. Metode basah terdiri atas 3 jenis di antaranya metode presipitasi, teknik hidrotermal, dan hidrolisis [8]. Pada penelitian ini digunakan metode basah, yaitu presipitasi. Keuntungan metode presipitasi adalah mudah mengatur komposisi dan sifat fisik hidroksiapatit, murah, dan mudah penggunaannya [8].

Jumlah CaCO_3 dan H_3PO_4 yang dilarutkan berdasarkan hasil perhitungan stokiometri sehingga menghasilkan nisbah konsentrasi Ca:P sebesar 1:1, 4:3, dan 3:2. Hasil akhir kemudian di kalsinasi sesuai penggunaan. Kalsinasi untuk nisbah 3:2 dilakukan pada suhu 1000 °C untuk mendapatkan senyawa trikalsium fosfat (TKP). Arifianto [2] mengatakan bahwa pembentukan senyawa TKP terjadi pada suhu di atas 1000 °C, kalsinasi nisbah 4:3 dan 1:1 dilakukan pada suhu 100 °C. Penggunaan suhu kalsinasi mengikuti penelitian Thakur [12] untuk mendapatkan senyawa oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat (OKHP) dan kalsium hidrogen fosfat (KHP). Pencirian sampel dilakukan dengan XRD. Pola difraksi disesuaikan dengan JCPDS 02-1350 untuk KHP, JCPDS 29-0359 untuk TKP, dan JCPDS 26-1056 untuk OKHP. Hasil sintesis senyawa sampel terdokumentasikan dalam Lampiran 5. Pola XRD pada Gambar 2 menunjukkan bahwa 3 puncak dengan intensitas tertinggi dimiliki oleh 2 puncak KHP pada 2θ 30.5900 dan 46.5169 serta 1 puncak asam fosfat pada 2θ 15.2518. Puncak sudut 2θ lain yang

teridentifikasi adalah fase kalsium hidrogen fosfat pada sudut 38.4466, serta fase asam fosfat pada sudut 22.8897 dan 24.2219.

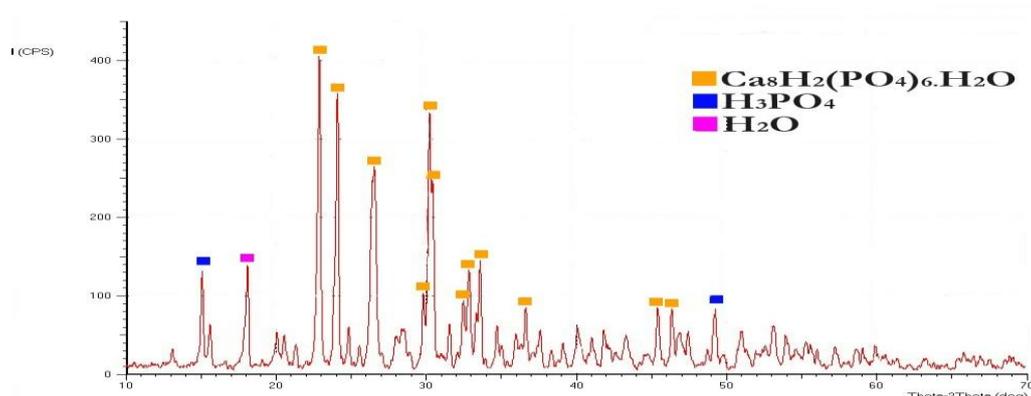


Gambar 2 Pola difraksi sinar-X sintesis kalsium hidrogen fosfat.

Puncak-puncak fase asam fosfat masih terdeteksi dimungkinkan karena sisa asam fosfat yang tidak habis bereaksi. Jumlah asam fosfat yang ditambahkan tidak tepat pada saat penakaran volume. Hasil pencampuran kalsium karbonat dengan asam fosfat nisbah 1:1 serta konsentrasi CaCO_3 dan H_3PO_4 sebesar 0.25 M sesuai dengan reaksi pembentukan KHP,

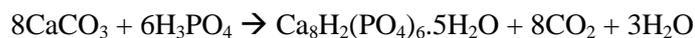


Pola XRD OKHP ditunjukkan pada Gambar 3. Pola XRD menunjukkan fase OKHP pada 3 puncak tertinggi pada sudut 2θ sebesar 22.9031, 24.1113, dan 30.2387. Fase asam fosfat juga terbentuk pada sudut 15.1302 dan 49.2074, disebabkan karena sisa asam fosfat yang tidak habis bereaksi saat mereaksikan dengan kalsium karbonat. Fase H_2O juga terdapat di 18.1346. Keberadaan H_2O disebabkan oleh keberadaan interaksi dengan udara sesaat sebelum pengukuran XRD.

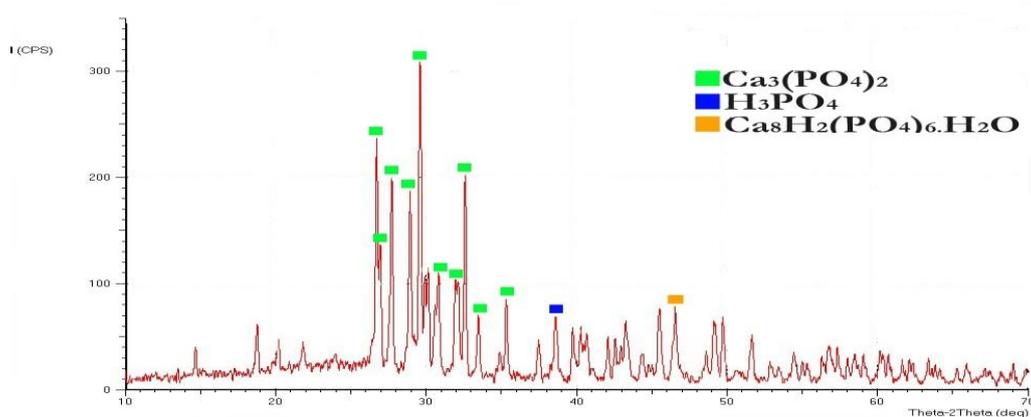


Gambar 3 Pola difraksi sinar-X sintesis oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat.

Oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat dibuat dengan mereaksikan CaCO_3 0.25 M dan H_3PO_4 0.25 M pada nisbah 4:3 sesuai dengan reaksi,



Pola XRD TKP pada Gambar 4 menunjukkan 3 puncak tertinggi berasal dari TKP, yaitu pada puncak 29.6174, 27.7354, dan 32.6229. Puncak sudut 2θ lain yang teridentifikasi menunjukkan fase TKP pada sudut 26.9808, 27.7354, 28.9645, 30.8434, 31.9569, 33.4905, dan 35.3376, sedangkan puncak-puncak lain dianggap sebagai derau. Puncak asam fosfat juga terlihat pada 38.6290, keberadaan asam fosfat yang teridentifikasi menunjukkan adanya sisa asam fosfat yang tidak habis bereaksi. Fase lain OKHP juga terlihat pada puncak sudut 46.5796.



Gambar 4 Pola difraksi sinar-X sintesis trikalsium fosfat.

Trikalsium fosfat dibuat dengan mereaksikan CaCO_3 0.25 M dan H_3PO_4 0.25 M pada nisbah 3:2 sesuai dengan reaksi,



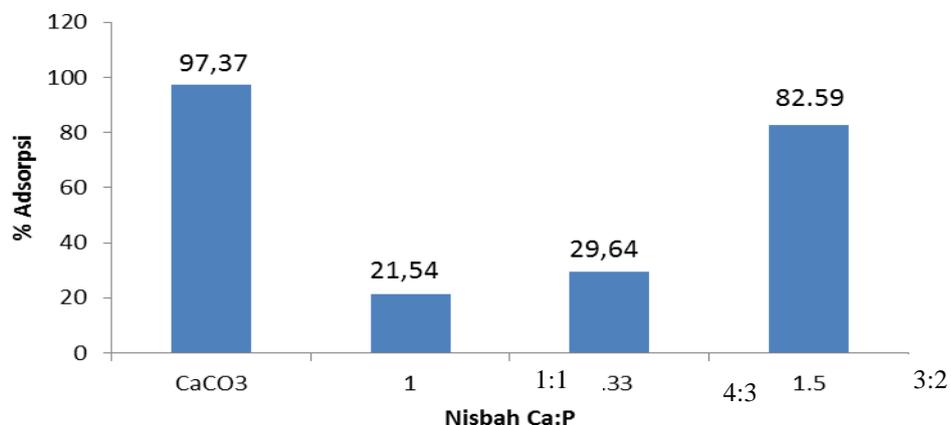
3.3 Pengaruh Fosfatisasi Kalsium Karbonat dalam Adsorpsi Pb^{2+}

Keberadaan kalsium karbonat pada cangkang telur berpotensi digunakan sebagai penjerap logam berat di antaranya timbal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fosfatisasi kalsium karbonat menghambat penjerapan Pb^{2+} dalam air. Hal ini disebabkan kekuatan ikatan antara kalsium dan gugus PO_4^{3-} lebih kuat dibandingkan dengan gugus CO_3^{2-} .

Fosfatisasi menghasilkan senyawa turunan dari hidroksiapatit, yaitu KHP, TKP, dan OKHP. Senyawa kalsium fosfat seperti senyawa apatit diketahui menjadi bersifat selektif terhadap kation logam divalen. Mekanisme penjerapan terjadi sebagai hasil proses pertukaran ion dengan ion Ca^{2+} dalam senyawa apatit. Selain itu, menurut Mobasherpour *et al.* [6] jari-jari ion Pb^{2+} (1.19 Å) tidak berbeda jauh dengan Ca^{2+} (0.99 Å) sehingga ion Pb^{2+} dapat menggantikan ion Ca^{2+} yang berada pada kisi kristal senyawa apatit.

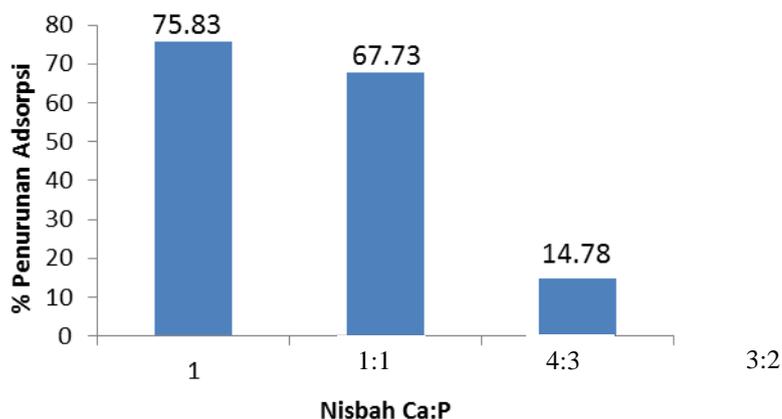
Hasil penelitian juga menunjukkan penjerapan ion Pb^{2+} dalam air oleh kalsium karbonat sangat efektif dengan penjerapan ion Pb^{2+} yang cukup besar, namun kapasitas penjerapannya menjadi terhambat atau mengalami penurunan seiring dengan penurunan nisbah Ca:P dari senyawa apatit yang terbentuk dari reaksi fosfatisasi kalsium karbonat oleh asam fosfat.

Efek penambahan fosfat pada kalsium karbonat akan memperkecil nisbah Ca:P sampel. Persentase penjerapan ion Pb^{2+} dalam air menurun seiring dengan penurunan nisbah Ca:P. Hal ini menunjukkan bahwa afinitas ion Pb^{2+} pada permukaan kalsium karbonat berkurang akibat fosfatisasi. Berdasarkan Gambar 5, kalsium karbonat terfosfatisasi dalam nisbah Ca:P = 3:2 menghasilkan TKP yang menunjukkan persentase adsorpsi 82.59%, Kalsium karbonat dengan nisbah Ca:P = 4:3 menghasilkan OKHP menunjukkan persentase adsorpsi 29.64%. Kalsium karbonat dengan nisbah Ca:P = 1:1 menghasilkan kalsium hidrogen fosfat yang menunjukkan persentase adsorpsi 21.54%, sementara kalsium karbonat murni tanpa penambahan fosfat menunjukkan persentase adsorpsi sangat tinggi, yaitu 97.37%.



Gambar 5 Hubungan nisbah Ca:P dengan % adsorpsi.

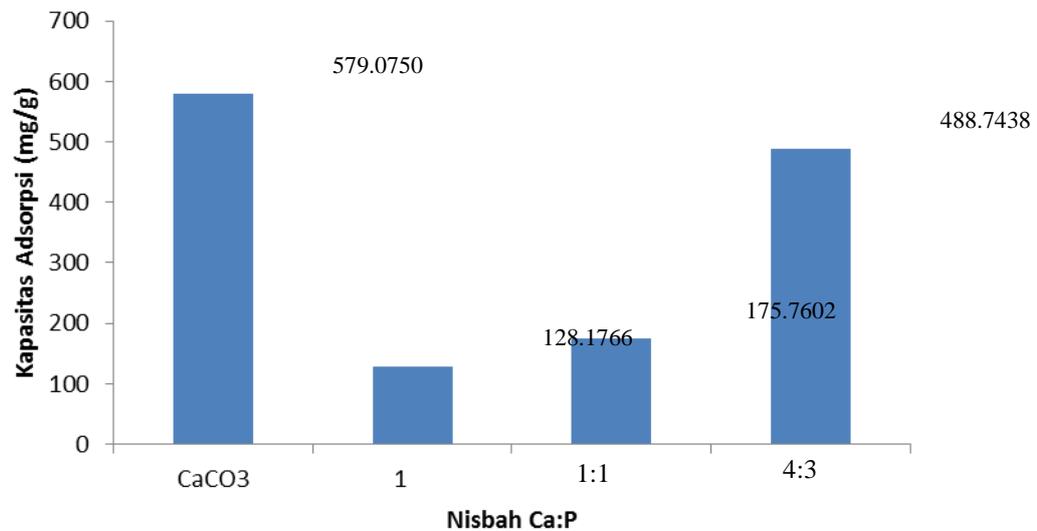
Penurunan persen penjerapan oleh kalsium karbonat akibat pengaruh adanya fosfat pada permukaan kalsium karbonat disajikan pada Gambar 6,



Gambar 6 Hubungan nisbah Ca:P dengan % penurunan adsorpsi.

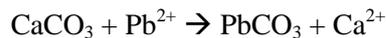
Senyawa dengan nisbah Ca:P yang kecil mengakibatkan besarnya persen penurunan adsorpsi timbal. Senyawa KHP dengan nisbah 1:1 menunjukkan persen penurunan adsorpsi sebesar 75.83%, OKHP dengan nisbah 4:3 menunjukkan persen penurunan adsorpsi sebesar 67.73%, dan TKP dengan nisbah 3:2 menunjukkan persen penurunan adsorpsi sebesar 14.78%. Keberadaan fosfat pada kalsium karbonat dengan nisbah Ca:P yang semakin kecil mengakibatkan penurunan persen penyerapan oleh kalsium karbonat semakin besar.

Konsentrasi Pb^{2+} yang terjerap pada TKP sebanyak 3.9295 ppm, OKHP sebanyak 1.4103 ppm, KHP sebanyak 1.0249 ppm, sedangkan kalsium karbonat tanpa perlakuan penambahan fosfat dapat menyerap Pb^{2+} sebanyak 4.6326 ppm. Berdasarkan gambar 7 kapasitas adsorpsi yang didapatkan dari penelitian ini sebesar 488.7438 mg/g pada TKP, 175.7602 mg/g pada OKHP, 128.1766 mg/g pada KHP, dan 579.0750 mg/g pada kalsium karbonat murni. Hasil kapasitas adsorpsi Pb^{2+} pada kalsium karbonat cangkang telur lebih besar dibandingkan kalsium karbonat sintesis. Adekola *et al.* [1] menggunakan kalsium karbonat sintesis hasil pengendapan larutan Na_2CO_3 dan $CaCl_2$ dengan nilai kapasitas adsorpsi 268 mg/g.



Gambar 7 Hubungan nisbah Ca:P dengan kapasitas adsorpsi (mg/g).

Selama proses penjerapan pada kalsium karbonat menurut Yavuz *et al.* [14], terjadi reaksi



Mekanisme ini tidak menghasilkan perubahan pH yang jauh antara sebelum dan sesudah kesetimbangan penjerapan Pb^{2+} (Lampiran 6). Ketika permukaan CaCO_3 terlapisi oleh Pb^{2+} , akan terbentuk permukaan PbCO_3 yang menjadi dominan hingga proses kesetimbangan terjadi. Proses terjadi karena reaksi pertukaran kation antara Ca^{2+} dan Pb^{2+} , karena kedua atom tersebut memiliki jari-jari ion yang hampir mirip. Pb^{2+} dapat menggantikan Ca^{2+} dari permukaan sistem karena tetapan hasil kali kelarutan produk dari PbCO_3 ($\text{PbCO}_3 \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$, $K_{sp} = 1.5 \times 10^{-13}$) lebih kecil dari CaCO_3 ($\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$, $K_{sp} = 3.8 \times 10^{-9}$), sehingga ketika larutan Pb^{2+} ditambahkan pada CaCO_3 maka Pb^{2+} akan mengendap menjadi PbCO_3 .

Penambahan fosfat pada kalsium karbonat akan menghasilkan senyawa turunan hidroksiapatit, yaitu kalsium hidrogen fosfat, oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat, dan trikalsium fosfat yang menyebabkan terjadinya penghambatan dalam penjerapan ion Pb^{2+} dalam larutan. Mobasherpour *et al.* [6] dalam penelitian penjerapan Pb pada senyawa apatit, yaitu hidroksiapatit menyimpulkan bahwa terjadinya penjerapan karena ion Pb^{2+} akan terserap pada permukaan HAp dan bertukarnya dengan ion Ca^{2+} dengan persamaan reaksi.



Keterangan: x bernilai 0 sampai 10 tergantung dari waktu reaksi dan kondisi percobaan.

Proses penjerapan pada penelitian Mobasherpour *et al.* [6] dapat terjadi karena reaksi tukar ion Pb^{2+} dengan kompleks antara permukaan kalsium, fosfat, dan grup hidroksi dalam HAp atau terjadinya pengendapan dari fase baru $Ca_{10-x}Pb_x(PO_4)_6(OH)_2$ hasil dari reaksi Pb^{2+} dengan HAp. Penelitian tersebut menunjukkan tidak bertukarnya secara keseluruhan ion Ca^{2+} dengan ion Pb^{2+} dalam reaksi. Kation Ca^{2+} masih ada dalam produk akhir reaksi, hal ini dikarenakan adanya kompleks dengan PO_4^{2-} dalam HAp yang membuat Ca^{2+} sulit terlepas. Kerangka reaksi kalsium karbonat dan HAp pada penjerapan Pb^{2+} menunjukkan bahwa permukaan kalsium karbonat lebih memiliki afinitas tinggi terhadap Pb^{2+} dibandingkan senyawaan apatit trikalsium fosfat, oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat, dan kalsium hidrogen fosfat. Hal ini dikarenakan ikatan PO_4^{3-} dengan Ca^{2+} lebih kuat dibanding CO_3^{2-} dengan Ca^{2+} yang menyebabkan pelepasan Ca^{2+} dari permukaan Ca-P lebih sulit dibandingkan pelepasan Ca^{2+} dalam $CaCO_3$.

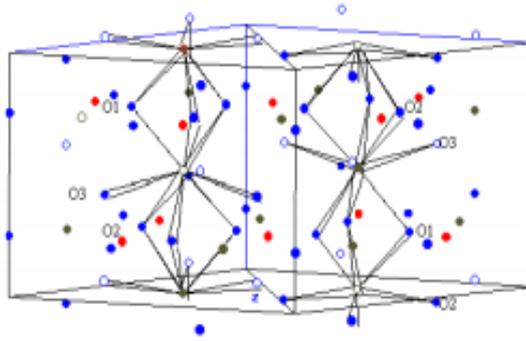
Senyawa apatit kalsium fosfat mempunyai empat fase kristal, yaitu kalsium hidrogen fosfat dihidrat, oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat, trikalsium fosfat, dan hidroksiapatit dengan struktur kristal dan parameter kisi ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Formula kimiadan struktur kristal kalsium fosfat [7].

Nama	Ca:P	Struktur Kristal	Parameter kisi
Hidroksiapatit	1.67	Heksagonal	a=b=9.42 Å c=6.88 Å
Kalsium hidrogen fosfat	1	Monoklinik	a=5.81 Å b=15.18 Å c= 6.24 Å β= 116,4 °
Oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat	1.33	Triklinik	a= 19.87 Å b= 9.63 Å c= 6.88 Å

			$\alpha = 89.3^\circ$
			$\beta = 92.2^\circ$
			$\gamma = 108.9^\circ$
			$a = 10.3 \text{ \AA}$
Trikalsium fosfat	1.5	Rombohedral	$b = 10.3 \text{ \AA}$
			$c = 37.0 \text{ \AA}$

Hidroksiapatit merupakan senyawa kompleks dengan struktur kristal heksagonal yang dipandang sebagai struktur kristal ideal (*closed-packed*) dengan $a = b = 9,423 \text{ \AA}$ dan $c = 6.881 \text{ \AA}$ [7].



Gambar 8 Struktur kristal hidroksiapatit [7].

Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan bahwa keberadaan atom-atom pada hidroksiapatit tersusun kompak sehingga proses pelepasan Ca^{2+} untuk menggantikan Pb^{2+} sulit terjadi, sedangkan pada kalsium karbonat yang merupakan senyawa ion dapat mudah terionisasi sehingga Ca^{2+} lebih mudah tergantikan oleh Pb^{2+} . Senyawa kalsium hidrogen fosfat, oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat, dan trikalsium fosfat yang merupakan turunan hidroksiapatit juga merupakan senyawa kompleks yang susunan atom pada kristal tersusun kompak, sehingga sulit terjadinya pelepasan atom Ca^{2+} . Selain itu, menurut Soesilowati dan Suhanda [11], dikatakan bahwa salah satu peranan fosfat adalah sebagai bahan perekat dalam keramik karena memiliki daya rekat tinggi dan bersifat bioaktif pada persenyawaan apatit. Kemampuan daya rekat fosfat yang kuat pada keramik atau HAp mendukung bahwa afinitas Ca lebih tinggi terhadap fosfat. Hasil ini penelitian ini mendukung hasil penelitian yang disampaikan Thakur *et al.* [12] menyampaikan bahwa penyerapan logam berat divalent lainnya, yaitu kadmium oleh kalsium karbonat menjadi terhambat akibat adanya perlakuan penambahan fosfat.

4 SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Kalsium karbonat didapatkan dari cangkang telur ayam dengan kalsinasi suhu 500 °C selama 2 jam. Senyawaan apatit dalam bentuk trikalsium fosfat, oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat, dan kalsium hidrogen fosfat didapatkan dengan mereaksikan kalsium karbonat cangkang telur ayam dan asam fosfat menggunakan nisbah konsentrasi Ca:P 3:2, 4:3, dan 1:1. Kalsium karbonat yang dihasilkan sangat baik dalam menjerap logam timbal dengan persen adsorpsi 97.37% dan kapasitas adsorpsi 579.0750 mg/g. Sedangkan, kisaran persen adsorpsi pada trikalsium fosfat, oktakalsium hidrogen fosfat pentahidrat, dan kalsium hidrogen fosfat berturut-turut, yaitu 82.59%, 29.64%, dan 21.54% dengan kapasitas adsorpsi berturut-turut, yaitu 488.7438 mg/g, 175.7602 mg/g, dan 128.1766 mg/g. Aplikasi penambahan fosfat pada kalsium karbonat yang membentuk senyawaan apatit dapat menghambat penjerapan logam timbal. Semakin banyak fosfat akan mengurangi nilai perbandingan Ca:P pada sampel sehingga mengurangi persen adsorpsi dan kapasitas adsorpsi.

4.2 Saran

Kontrol pH perlu diperhatikan untuk mengetahui pH optimum pada penjerapan. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap kemampuan kapasitas adsorpsi optimum dari sampel dengan menambah variasi jumlah konsentrasi awal dari larutan Pb. Selain itu, kekuatan ikat antara kalsium dan fosfat perlu dihitung sebagai pendukung kuantitatif penghambat penjerapan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adekola FA, Salam NA, Adegoke HI, Adesola M, Adekeye JID. 2012. Removal of Pb(II) from aqueous solution by natural and synthetic calcites. *Bull Chem Soc Ethiop* 26: 195-210.
- [2] Arifianto. 2006. Pengaruh atmosfer dan suhu sintering terhadap komposisi pelet hidroksiapatit yang dibuat dari sintesa kimia dengan media air dan sbf [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

- [3] Agustiningtyas Z. 2012. Optimasi adsorpsi ion Pb(II) menggunakan zeolit alam termodifikasi ditizon [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [4] Inglezakis VJ, Stylianou MA, Gkantzou D, Loizidou MD. 2007. Removal of Pb(II) from aqueous solutions by using clinoptilolite and bentonite as adsorbents. *Desalination* 210: 248-256.
- [5] Liao, Zheng W, Li X, Yang Q, Yue X, Guo L, Zeng G. 2010. Removal of lead(II) from aqueous solutions using carbonate hydroxyapatite extracted from eggshell waste. *J Hazard Mater* 177: 126–130.
- [6] Mobasherpour I, Salahi E, Pazouki M. 2011 Potential of nano crystalline hydroxyapatite for lead (II) removal from aqueous solutions: Thermodynamic and Adsorption isotherm study. *Afri J Pure App Chem* 5: 383-392.
- [7] Nurmawati M. 2007. Analisis derajat kristalinitas, ukuran kristal dan bentuk partikel mineral tulang manusia berdasarkan variasi umur dan jenis tulang [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [8] Pankaew P, Hoonivathana E, Limsuwan P, Naemchanthara K. 2010. Temperature effect on calcium phosphate synthesized from chicken eggshells and ammonium phosphate. *J Appl Sci* 10: 3337-3342.
- [9] Rivera EM, Araiza M, Brostow W, Castano VM, Diaz-Estrada JR, Hernandez R, Rodriguez JR. 1999. Sythesis of hydroxyapatite from eggshells. *Mater Let* 41: 128–134.
- [10] Sigh V, Mehta N. 2012. Synthesis of nano crystalline hydroxyapatite from eggshells by combustion method. *Inter J Sci Eng Investigations* 1: 92-94.
- [11] Soesilowati, Suhanda. 2008. Peran fosfat dalam keramik. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia* vol. 17 No.2.
- [12] Thakur SK, Tomar N K, Pandeya S B. 2005. Influence of phosphate on cadmium sorption by calcium carbonate. *Geoderma* 130: 240– 249.
- [13] Trianita VN. 2012. Sintesis hidroksiapatit berpori dengan porogen polivinil alkohol dan pati [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [14] Yavuz O, Guzel R, Aydin F, Tegin I, Ziyadanogullari. 2007. Removal of cadmium and lead from aqueous solution by calcite. *Polish J of Environ Stud* 16: 467-471.

SINTESIS POLIOL SEBAGAI BAHAN DASAR PEMBENTUK POLIURETAN BERBASIS MINYAK JARAK PAGAR

Harjono¹, Purwantiningsih Sugita², and Zainal Alim Mas'ud²

¹ Departemen Kimia, Universitas Negeri Semarang
Kampus Sekaran Gunungpati Semarang Central Java 50229

² Departemen Kimia, Institut Pertanian Bogor, Jalan Agatis
IPB Campus Darmaga Bogor West Java 16680

¹Corresponding author. Email: harjono_hanis@yahoo.com

ABSTRAK

*In the recent years, vegetable oil based polyol is an alternative polyol that have been developed as bio-based product that can reduce the widespread dependence on the petroleum feed stocks. A study on polyol synthesis from *Jatropha curcas* oil was conducted. The objectives of this research were to create a polyol from *Jatropha curcas* oil via epoxidation process followed by opening ring reaction of epoxidized *Jatropha curcas* oil (EJP). The epoxidation of *Jatropha curcas* oil was carried out with in-situ peroxyacetic acid formation in the present of Amberlite IR-120 catalyst, at 70°C for 12 hours. The opening ring reaction of EJO were conducted by variation of acrylic acid (AA) to EJP ratio (1.4%, 2.9%, and 4.3%), percentage of triethylamine (0%, 1%, 2%, and 3%) and time reaction (60, 120, 180, and 240 minute) at 50°C. The results showed that the polyol have hydroxyl number around 70.234 – 134.915 mg KOH/g with average 97.418 mg KOH/g. The hydroxyl number increase significantly with the addition of %AA and % triethylamine, conversely increasing reaction time have inferior impact on the hydroxyl number of polyol.*

Keywords: *epoxidation, EJP, opening ring reaction, polyol*

1 PENDAHULUAN

Poliol adalah salah satu bahan yang digunakan dalam industri pelapis/cat jenis poliuretan. Poliuretan adalah produk polimer yang dibuat dengan cara mereaksikan alkohol dengan isosianat. Dewasa ini ada beberapa jenis poliuretan yang telah dibuat antara lain: elastomer, perekat, busa, cat, *sealant* dan lain-lain. Dalam industri cat, poliuretan merupakan salah satu jenis cat yang memiliki banyak kelebihan dibandingkan jenis cat lainnya antara lain: daya tahan terhadap cuaca, daya kilap tinggi, tingkat kekerasan yang cukup baik, dan daya rekat yang baik pada berbagai jenis bahan (logam, plastik dan kayu) [1].

Konsumsi poliuretan dunia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun dengan kenaikan rata-rata 5,1% sampai dengan tahun 2005. Konsumsi poliuretan di Indonesia dari tahun 1989 sampai dengan tahun 1995 mengalami kenaikan kurang lebih 37% dari

1.160 ton menjadi 6.159 ton [2]. Kebutuhan poliuretan Indonesia pada tahun 2004 telah mencapai 17.465 ton/tahun dan diprediksi mencapai 35 ribu ton pertahun pada tahun 2014 [3]. Seluruh kebutuhan poliuretan di Indonesia tersebut masih dipenuhi melalui impor dari luar negeri.

Sebagian besar poliuretan dibuat dari polioliol yang bersumber dari turunan minyak bumi. Munculnya isu lingkungan terkait penggunaan minyak bumi mendorong semua pihak untuk mencari bahan baku produksi polioliol alternatif [4, 5, 6]. Minyak nabati merupakan salah satu alternatif bahan baku yang dapat digunakan untuk memproduksi polioliol. Minyak nabati yang dapat digunakan sebagai bahan baku polioliol antara lain: minyak kedelai, minyak castor, minyak palm, minyak bunga matahari, dan minyak linseed. Dibandingkan dengan polioliol berbahan baku minyak bumi (petrokimia), polioliol berbahan baku minyak nabati memiliki keunggulan karena mudah terurai dan terbarukan.

Di Eropa dan Amerika, polioliol berbasis minyak kedelai telah digunakan oleh industri dalam skala besar menggantikan polioliol petrokimia dalam produksi poliuretan [7]. Minyak nabati dapat ditransformasi menjadi polioliol melalui berbagai cara diantaranya: hidroksilasi, epoksidasi dilanjutkan dengan pembukaan cincin epoksida, ozonolisis dilanjutkan dengan hidrogenasi dan hidroformilasi dilanjutkan dengan reduksi. Pembuatan polioliol dari minyak nabati melibatkan perubahan ikatan rangkap pada rantai samping trigliserida menjadi gugus hidroksil. Sintesis polioliol secara langsung dari minyak sawit telah dilakukan dengan cara hidroksilasi menggunakan reagen H_2O_2 dan $HCOOH$ [8]. Berdasarkan hasil penelitian lainnya, polioliol dapat disintesis dari minyak nabati melalui epoksidasi dilanjutkan dengan pembukaan cincin epoksida [7, 9, 10].

Sintesis polioliol dari epoksida minyak nabati dilakukan dengan mereaksikan epoksida minyak nabati dan alkohol atau asam yang memiliki berat molekul (BM) rendah. Kondisi reaksi yang digunakan akan menentukan produk yang terbentuk yaitu pada reaksi sempurna akan dihasilkan polioliol dengan kandungan OH yang tinggi sedangkan pada reaksi parsial akan dihasilkan epoksi polioliol ester dengan sisa gugus epoksida [11]. Konversi epoksida minyak nabati menjadi polioliol telah berhasil dilakukan dengan menggunakan alkohol, gliserol, etilen glikol [6, 11, 12, 13], karbon dioksida [14] dan asam akrilat [13,15].

Indonesia memiliki banyak sumber minyak nabati, diantaranya kelapa sawit, kemiri, saga, kapuk, karet dan jarak pagar. Jarak pagar merupakan tanaman yang sekarang ini banyak diteliti. Shah *et al.* (2003) [16] melaporkan bahwa kandungan minyak biji jarak pagar sekitar 40-60% (b/b). Minyak jarak pagar memiliki kandungan

asam lemak yang mirip dengan minyak kedelai. Penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar sudah cukup berkembang di Indonesia, tetapi penggunaan minyak nabati sebagai bahan baku polioliol belum dikembangkan, padahal di Amerika dan Eropa sudah memasuki skala industri. Di Eropa dan Amerika, polioliol berbasis minyak kedelai telah digunakan oleh industri dalam skala besar menggantikan polioliol petrokimia dalam produksi poliuretan [7].

Pengembangan minyak jarak pagar sebagai bahan baku polioliol merupakan salah satu cara mendapatkan bahan baku pelapis poliuretan yang selama ini masih diimpor dan berasal dari bahan baku tidak terbarukan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk menghasilkan polioliol dari minyak jarak pagar yang nantinya dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembentuk poliuretan.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: minyak jarak pagar, asam akrilat (AA) (Sigma), natrium hidrogen karbonat (E.Merck), natrium sulfat anhydrous (E.Merck), toluena (E. Merck), KOH, trietilamine (TEA), NaOH, H₃PO₄, asam asetat, anhidrida asetat, dan H₂O₂.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: satu set alat refluk, rotary evaporator, set alat titrasi, erlenmeyer, bekglass, mantel heater, pengaduk magnetik, hot plate, dan spektrofotometer FTIR Thermo Nicolet AVATAR 360.

2.2 Prosedur

Sintesis polioliol berbasis minyak jarak pagar dilakukan melalui reaksi epoksidasi yang dilanjutkan dengan reaksi pembukaan cincin epoksida. Epoksidasi minyak jarak pagar dilakukan sesuai prosedur yang telah dikembangkan oleh Sugita *et al.* [17], sedangkan reaksi pembukaan cincin epoksida menggunakan modifikasi prosedur yang dilaporkan oleh Chasar *et al.* [4].

2.2.1 Sintesis Epoksidasi minyak jarak pagar (EJP) [17]

Sebanyak 100 g minyak jarak pagar, 8 ml asam asetat glasial, 29 ml toluena, dan katalis Amberlite IR-120 sebanyak 3% (b/b) dimasukkan kedalam labu leher tiga yang dilengkapi pengaduk magnet, kemudian larutan kedua yaitu 57,8 g H₂O₂ 35% dalam

corong pisah dimasukkan tetes demi tetes kedalam campuran reaksi. Campuran dipanaskan dalam penangas air pada suhu 70°C selama 12 jam. Hasil reaksi dinetralkan dengan larutan NaHCO₃, kemudian dipisahkan dengan corong pisah. Setelah fraksi air dibuang, epoksida minyak jarak pagar (EJP) dicuci dengan aquades dan dikeringkan dengan Na₂SO₄ anhidrat. EJP yang dihasilkan dianalisis bilangan Iod, bilangan oksirana, bilangan peroksida.

2.2.2 Sintesis polioli dari epoksida minyak jarak pagar [4]

Sebanyak 100 g EJP dimasukkan kedalam labu leher tiga, ditambahkan sejumlah tertentu toluena dan TEA sebagai katalis. Campuran dipanaskan dan diaduk dalam penangas air pada suhu 50°C . Setelah campuran homogen, dan suhu konstan pada 50°C selanjutnya ditambahkan sejumlah AA. Reaksi dilakukan dengan waktu bervariasi yaitu: 60, 120, 180, dan 240 menit.

Campuran polioli yang diperoleh selanjutnya dinetralkan dengan NaHCO₃ dan dipisahkan fase organiknya dengan corong pisah. Fase organik yang diperoleh dicuci beberapa kali dengan menambahkan aquades panas kedalam campuran hasil reaksi dalam corong pisah. Campuran dikocok selama 3 menit, kemudian didiamkan selama 30 menit agar polioli terpisah dari air dan sisa reaktan. Lapisan yang berwarna kuning keruh di bagian atas merupakan polioli dan lapisan putih agak bening pada bagian bawah merupakan campuran air dan sisa reaktan. Polioli yang diperoleh selanjutnya ditambah dengan Na₂SO₄ anhidrat untuk menurunkan kandungan air yang tersisa akibat proses pencucian. Polioli bebas air yang diperoleh dianalisis bilangan hidroksil, bilangan oksirana, rendemen, dan dianalisis dengan spektrofotometer inframerah.

Dalam pembuatan polioli, untuk mengetahui pengaruh faktor dan atau antar faktor terhadap respon penelitian digunakan alat bantu rancangan percobaan faktorial 3x4x4 dengan tiga faktor yaitu nisbah AA terhadap EJP (%AA), %TEA dan waktu reaksi dengan setiap perlakuan dilakukan tiga kali ulangan. Faktor %AA dilakukan dengan tiga taraf, yaitu 1,4%, 2,9%, dan 4,3%, faktor %TEA dengan empat taraf yaitu, 0%, 1%, 2%, dan 3%, sedangkan faktor waktu reaksi dengan empat taraf yaitu, 60, 120, 180, dan 240 menit.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Epoksida minyak jarak pagar (EJP)

Minyak jarak pagar sebagai bahan baku utama penelitian diperoleh dari BPPT Serpong Jawa Barat. Minyak diambil dari hasil pengepresan biji jarak pagar menggunakan unit pengepres yang dimiliki oleh BPPT, kemudian dilanjutkan dengan

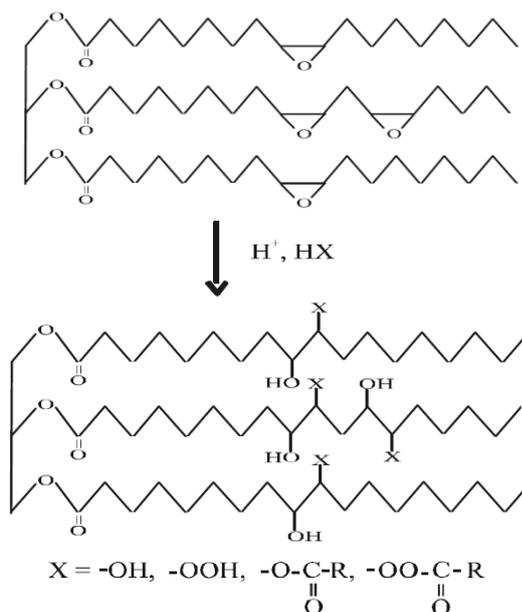
proses *degumming* sehingga diperoleh minyak jarak pagar yang terbebas dari kandungan getah/lendir yang terdiri dari fosfatida, protein, residu, karbohidrat dan resin tanpa mengurangi jumlah asam lemak bebas dalam minyak. Tabel 1 memperlihatkan nilai bilangan Iod minyak jarak pagar sebesar 108,9 g I₂/100g menurun pada EJP menjadi 10,8 g I₂/100g, sebaliknya bilangan oksirana pada EJP meningkat dibandingkan bilangan oksirana minyak menjadi sebesar 3,15%. Penurunan bilangan iod yang terjadi mengindikasikan terjadinya proses oksidasi ikatan rangkap akibat perlakuan penelitian, sedangkan peningkatan bilangan oksirana mengindikasikan telah terbentuk cincin epoksida sebagai salah satu produk oksidasi ikatan rangkap yang terdapat pada minyak jarak. Dugaan reaksi pembentukan epoksida dari minyak nabati telah dilaporkan oleh Hill [11]; Guner *et al.* [5]; Sugita *et al.* [17]; dan Meyer *et al.* [18];

Tabel 1 Kualitas Minyak Jarak Pagar dan EJP

Parameter	Minyak Jarak Pagar	EJP
Bilangan Iod (g I ₂ /100g)	108.9	10.8
Bilangan Oksirana (%)	0.04	3.15
Bilangan peroksida (eq/1000g)	13.38	22.31

Nilai bilangan oksirana EJP sebesar 3,15% yang diperoleh pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil yang diperoleh oleh Meyer *et al.* [18] sebesar 4,75% menggunakan pereaksi HCOOH dan H₂O₂ 50%, suhu 50°C dan waktu reaksi 5 jam. Rendahnya bilangan oksirana diduga disebabkan oleh penggunaan H₂O₂ yang berlebih yang dapat menyebabkan reaksi pembukaan cincin epoksida dari EJP. Selain itu, pembukaan cincin juga diduga karena katalis Amberlite IR-120 yang digunakan merupakan resin asam penukar kation. Dugaan reaksi pembukaan cincin oksirana menurut Campanella dan Baltanas [19] dan Petrovic *et al.* [20]; ditampilkan pada Gambar 1.

Dugaan reaksi pembukaan cincin epoksida oleh sisa peroksida dalam campuran reaksi yang dikatalis asam didukung oleh penelitian yang dilaporkan oleh Campanella & Baltanas [19], dimana pada kondisi tersebut reaksi pembukaan cincin secara kinetik memiliki $E_a = 16,3 \pm 0,72$ kkal/mol. Waktu reaksi sebesar 12 jam yang digunakan dalam proses epoksidasi pada penelitian ini juga diduga menjadi penyebab terjadinya reaksi pembukaan cincin epoksida sebab waktu reaksi yang lazim digunakan dalam proses epoksidasi yang dapat meminimalkan reaksi pembukaan cincin adalah 4 jam seperti yang dilaporkan oleh Gan *et al.* [21], dan Rangarajan *et al.* [22].



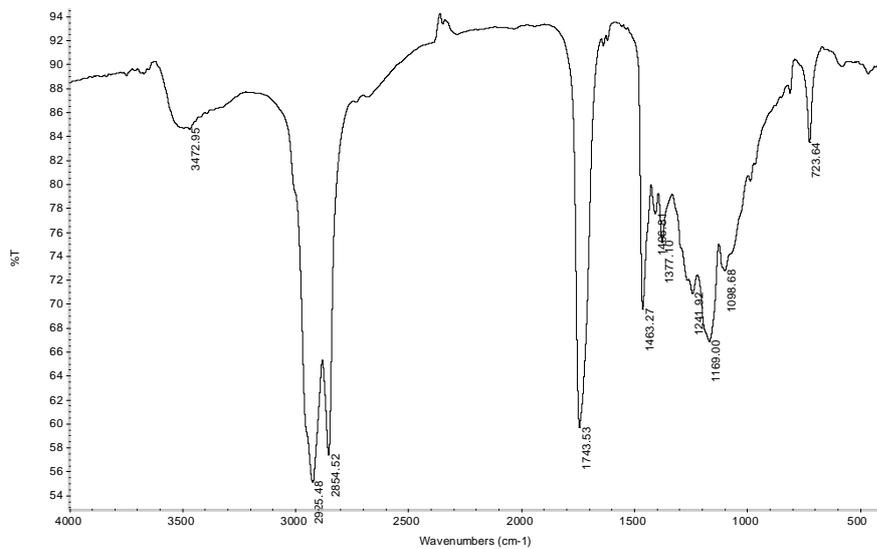
Gambar 1 Reaksi Pembukaan cincin oksirana

Reaksi epoksidasi minyak jarak pagar menjadi EJP memiliki energi aktivasi sebesar 45,43 kJ/mol [17] setara dengan 10,86 kkal/mol dan relatif lebih rendah dibandingkan energi aktivasi reaksi pembukaan cincin epoksida sebesar 16,3 kkal/mol [19]. Secara teoretis reaksi epoksidasi minyak jarak pagar menghasilkan EJP lebih dominan dibandingkan reaksi pembukaan cincinnya. Namun demikian, perbedaan energi aktivasi yang juga relatif kecil tersebut tetap memungkinkan terjadinya reaksi pembukaan cincin epoksida sehingga sebagian produk EJP telah mengalami reaksi pembukaan cincin.

Berdasarkan hasil analisis FTIR, spektrum EJP menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang 3472 cm^{-1} (gugus $-OH$), 1241 cm^{-1} (gugus $C-O$); 1743 cm^{-1} (gugus $C=O$); 1169 cm^{-1} dan 723 cm^{-1} (cincin oksirana). Munculnya pita serapan yang melebar pada 3472 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus hidroksil yang kemungkinan terbentuk akibat dari reaksi samping pembukaan cincin epoksida. Keberadaan gugus $-OH$ juga didukung serapan pada bilangan gelombang 1377 cm^{-1} yang memberikan indikasi gugus hidroksil sekunder. Spektrum IR polioliol ditampilkan pada Gambar 2.

3.2 Polioliol dari EJP

Transformasi EJP menjadi polioliol pada berbagai ragam %AA, %TEA dan waktu reaksi telah berhasil dilakukan pada penelitian ini. Variasi %AA, %TEA dan waktu reaksi sebanyak 48 jenis perlakuan dengan tiga kali ulangan menghasilkan respon bilangan hidroksil, bilangan oksirana dan rendemen reaksi yang berbeda-beda.



Gambar 2. Spektrum senyawa EJP hasil sintesis

Data hasil penelitian menunjukkan bahwa bilangan hidroksil, bilangan oksirana dan rendemen polioliol berturut-turut berkisar 70.234 – 134,915 mg KOH/g, 0,029 – 0,138 % dan 58,93 – 91,53%. Data bilangan hidroksil yang lengkap digunakan untuk mempelajari pengaruh AA, katalis TEA, dan waktu reaksi terhadap pencapaian bilangan hidroksil polioliol. Bilangan hidroksil merupakan parameter utama kualitas polioliol yang digunakan untuk formulasi poliuretan.

Data bilangan oksirana polioliol pada semua ragam perlakuan menunjukkan penurunan dibandingkan dengan data bilangan oksirana sebesar 3,15% pada EJP, hal ini mengindikasikan bahwa reaksi pembukaan cincin epoksida pada penelitian ini berhasil. Salah satu bukti keberhasilan reaksi tersebut adalah terbentuknya gugus hidroksil yang ditunjukkan melalui analisis bilangan hidroksil. Namun demikian, penurunan bilangan oksirana tidak secara linier berimbang terhadap kenaikan bilangan hidroksil sebab reaksi pembukaan cincin epoksida diduga menghasilkan produk lain disamping polioliol. Dari hasil karakterisasi menggunakan FTIR juga menunjukkan bahwa produk polioliol telah terbentuk. Serapan gugus yang muncul pada polioliol mirip dengan gugus yang teridentifikasi pada EJP, perbedaannya adalah adanya penurunan % transmitansi (%T) gugus –OH yang memberikan dampak naiknya konsentrasi OH yang terbentuk, seiring dengan naiknya %T epoksida, tetapi sintesis ini belum sempurna karena masih teridentifikasi serapan pada bilangan gelombang 1169 dan 723 cm^{-1} yang menunjukkan adanya cincin epoksida. Gugus –OH teridentifikasi berkedudukan sekunder. Hasil penelitian ini memperkuat hasil penelitian Petrovic *et al.* [20], bahwa sintesis polioliol

melalui tahapan epoksida menghasilkan polioliol dengan gugus hidroksil pada posisi sekunder.

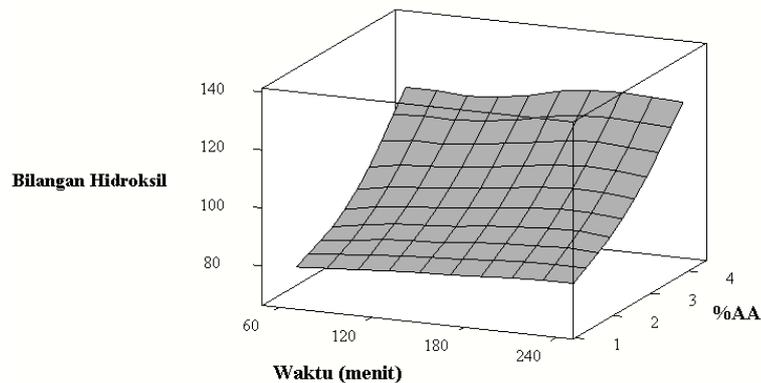
Dalam teknologi poliuretan, posisi gugus hidroksil berpengaruh terhadap reaktifitasnya dengan isosianat. Polioliol dengan gugus hidroksil primer lebih reaktif daripada polioliol dengan gugus hidroksil pada posisi sekunder. Perbedaan reaktifitas ini menentukan jenis aplikasi dari poliuretan. Polioliol dengan gugus hidroksil pada posisi sekunder berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku pelapis poliuretan, karena memiliki reaktifitas terhadap isosianat yang lebih rendah pada suhu ruang. Hasil penelitian yang dilaporkan oleh Kong dan Narine [23], polioliol dari minyak Canola dengan gugus hidroksil pada posisi primer dapat digunakan untuk bahan plastik poliuretan karena memiliki reaktifitas yang lebih tinggi daripada polioliol dengan gugus hidroksil pada posisi sekunder.

Dalam penelitian ini, rendemen polioliol yang dihasilkan berkisar antara 58,93% dan 91,53% dengan rata-rata 80,24%. Rendemen terendah terjadi pada kondisi reaksi 1,4% AA, 2% TEA dan waktu reaksi 120 menit, sedangkan kondisi tertinggi tercapai pada penggunaan 2,9% AA, 3% TEA dan waktu reaksi 180 menit. Hasil analisis keragaman terhadap bilangan hidroksil polioliol menunjukkan bahwa %AA, dan %TEA berpengaruh nyata terhadap bilangan hidroksil, sedangkan waktu reaksi tidak berpengaruh nyata terhadap bilangan hidroksil. Gambar 3 memperlihatkan respon bilangan hidroksil pada variasi %AA dan waktu reaksi. Pengaruh variasi %TEA belum bisa terlihat pada kurva tersebut, pengaruh variasi %TEA dapat dilihat secara jelas pada kurva kontur yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Pada Gambar 3, memperlihatkan terjadinya kenaikan bilangan hidroksil polioliol apabila %AA bertambah besar, sedangkan kenaikan waktu reaksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kenaikan bilangan hidroksil. Kenaikan bilangan hidroksil akibat peningkatan %AA secara jelas terlihat lebih tinggi dibandingkan kenaikan bilangan hidroksil yang disebabkan oleh kenaikan waktu reaksi.

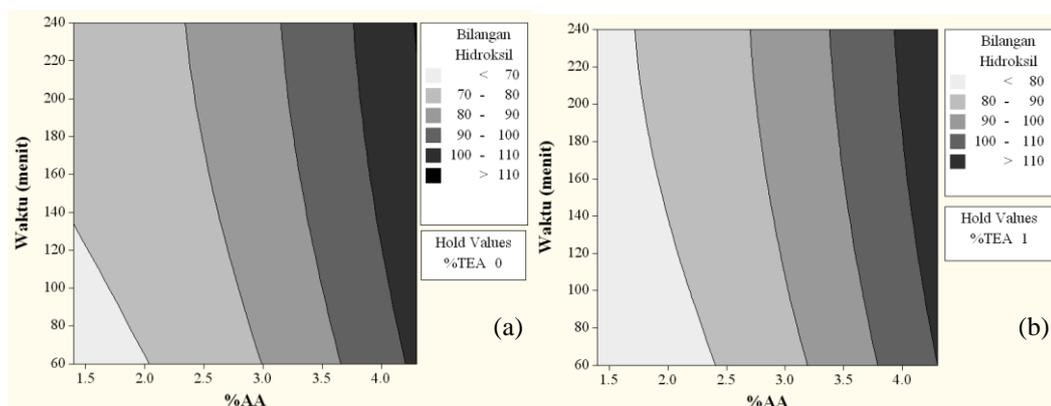
Bilangan hidroksil polioliol hasil sintesis yang dihasilkan dari penelitian ini berada pada kisaran 70.234 – 134,915 mg KOH/g, lebih rendah dari prediksi teoretis 230 – 240 mg KOH/g dengan asumsi fungsionalitas EJP memiliki 3 gugus epoksida/mol. Bilangan hidroksil polioliol yang lebih rendah diduga disebabkan oleh terjadinya reaksi-reaksi antara gugus hidroksil yang terbentuk dan gugus epoksida membentuk dimer, trimer atau oligomer. Reaksi oligomerisasi dapat terjadi lebih cepat dengan adanya H^+ dari AA.

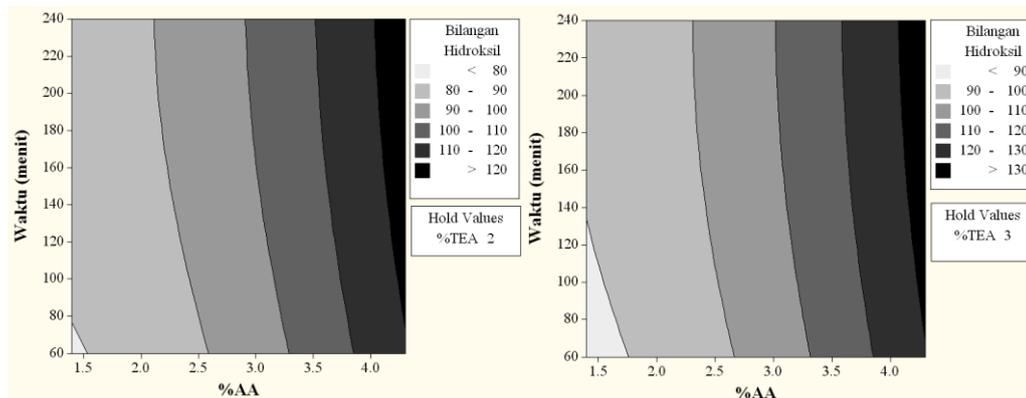
Secara fisik, reaksi oligomerisasi ditandai dengan kenaikan viskositas polioli akibat kenaikan bobot molekul polioli.



Gambar 3 Kurva respon bilangan hidroksil pada variasi %AA dan waktu reaksi

Dalam penelitian ini, upaya untuk mencegah terjadinya reaksi oligomerisasi telah dilakukan dengan menambahkan katalis TEA yang bersifat basa sehingga diharapkan dapat menurunkan konsentrasi H^+ dalam campuran reaksi. Mannari V. *et al.* [24], melaporkan polioli yang dihasilkan dari epoksida minyak kedelai yang secara teoretis memiliki bilangan hidroksil 440-450 mg KOH/g, tetapi akibat dari terjadinya reaksi oligomerisasi polioli yang dihasilkan hanya memiliki bilangan hidroksil pada kisaran 200 – 250 mg KOH/g. Hasil tersebut sebanding dengan capaian bilangan hidroksil polioli yang dihasilkan dalam penelitian ini. Penggunaan TEA selain berfungsi sebagai katalis dan mencegah terjadinya reaksi oligomerisasi, juga berfungsi lebih lanjut dalam mengkatalis reaksi polioli dengan isosianat dalam formulasi poliuretan.





Gambar 3 Pengaruh waktu reaksi dan %AA pada %TEA 0% (a), 1% (b), 2% (c) dan 3% (d) terhadap bilangan hidroksil

Gambar 4 memperlihatkan pengaruh waktu reaksi dan %AA pada variasi penggunaan katalis TEA. Kenaikan %TEA secara konsisten menyebabkan kenaikan bilangan hidroksil. Pada kondisi AA 4.0% dan waktu reaksi 60 menit, penggunaan TEA 0% menyebabkan kisaran bilangan hidroksil 90 – 100 mg KOH/g (Gambar 4a), sedangkan pada penggunaan TEA 1% ternyata bilangan hidroksil berada pada kisaran 100-110 mg KOH/g (Gambar 4b). Pola yang sama terjadi pada penggunaan TEA 2% dan 3% yang secara berturut-turut menghasilkan bilangan hidroksil pada kisaran 110-120 mg KOH/g dan 120-130 mg KOH/g (Gambar 4c dan 4d).

Kenaikan waktu reaksi pada %AA dan %TEA tetap berpengaruh kecil terhadap peningkatan bilangan hidroksil poliol. Gambar 4a menunjukkan bahwa pada kondisi TEA 0%, dan AA 1,5%, kenaikan waktu reaksi tidak memberikan kenaikan bilangan hidroksil. Pada penggunaan TEA 3% (Gambar 4d), kenaikan empat kali waktu reaksi dari 60 menit menjadi 240 menit juga hanya menaikkan bilangan hidroksil sebesar 10 mg KOH/g. Pada konsentrasi AA dan TEA yang tinggi, kenaikan waktu reaksi tidak menghasilkan kenaikan bilangan hidroksil.

KESIMPULAN

Sintesis poliol dari minyak jarak pagar melalui epoksidasi dilanjutkan dengan reaksi pembukaan cincin epoksida telah berhasil dilakukan dalam penelitian ini. Transformasi EJP menjadi poliol pada berbagai ragam %AA, %TEA dan waktu reaksi menghasilkan poliol dengan bilangan hidroksil, bilangan oksirana dan rendemen berturut-turut pada kisaran 70,234 – 134,915 mg KOH/g, 0,029 – 0,138 % dan 58,93 – 91,53%. Rata-rata bilangan hidroksil, bilangan oksirana, dan rendemen poliol yang dihasilkan berturut-turut adalah 97,418 mg KOH/g, 0,067% dan 80,24%. Kenaikan bilangan

hidroksil polioliol secara signifikan dipengaruhi oleh kenaikan %AA dan %TEA, sementara kenaikan waktu reaksi tidak signifikan berpengaruh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Cowd, 1991. *Kimia Polimer. Bandung* : Penerbit ITB
- [2]. [BPS] Biro Pusat Statistik 1998. *Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia Vol 2, 1989 – 1998*.
- [3]. Wijanarko A, Alfa A, Budi S. 2004. Perancangan Awal Pabrik Polyurethane Berbasis Minyak Jarak di Indonesia. *Jurnal Teknologi*. 2:109-119.
- [4]. Chasar DW, Sagamore H, Hughes MJ, penemu; Noveon Inc. Method of Making Oleochemical Oil-based Poliols. US Patent. US 2003/0088054 A1. 8 Mei 2003.
- [5]. Guner FS, Yusuf Y dan AT. Erciyes, 2006. Polymers from triglyceride oils. *Prog. Polym. Sci.* 31 (2006) 633-670. DOI:10.1016/j.progpolymsci. 2006.07.001
- [6]. Lye OT, Norin ZKS, dan Salmiah A. 2006. Production of Moulded Palm-Based Flexible Poliuretanan Foams. *Journal of Palm Research*. Vol.18 June 2006 p.198-203.
- [7]. Rupilius W dan Ahmad S 2007. The changing world of oleochemical. Malaysian Palm Oil Board. [terhubung berkala] <http://mpob.gov.my> [02 Juli 2007].
- [8]. Budi FS. 2001. Pengembangan Proses Konversi Minyak Sawit (CPO) menjadi Poliuretanan. [Thesis] Bandung: Jurusan Teknik Kimia, Intitut Teknologi Bandung.
- [9]. Petrovic ZS, Zhang W, Javni I (2005) Structure and properties of poliuretanan prepared from triglyceride poliols by ozonolysis. *Biomacromolecules* 6:713–719.
- [10]. Rios LA. 2003. Heterogeneously catalysed reactions with vegetable oils: epoxidation and nucleophilic epoxide ring-opening with alcohol [disertasi]. Aachen: The Institute of Chemical Technology and Heterogeneous Catalysis. University RWTH.
- [11]. Hill K. 2000. Fats and Oils as Oleochemical raw materials. *Pure Appl. Chem.* Vol.72, No.7, pp. 1255-1264
- [12]. Prociak AF, Bagdal D. 2006. [Abstract] Microwave-Enhanced Synthesis of Vegetable Oil-Based Poliols for Poliuretanan Applications. Cracow University of Technology, Department of Chemistry and Technology of Polymers, ul. Warszawska 24, Krakow 31-155 Poland.
- [13]. Wool RP. and Khot SN. 2007. Bio-based Resins and Natural Fibers. Publication is copyrighted by ASM International. Material Park, Ohio, USA. [terhubung berkala] <http://www.asminternational.org> [14 April 2007]

- [14]. Wilkes GL, Sohn S, and Tamami B. penemu; Virginia Tech Intellectual Properties, Inc. Nonisocyanate poliuretan materials, and their preparation from epoxidized soybean oils and related epoxidized vegetable oils, incorporation of carbon dioxide into soybean oil, and carbonation of vegetable oils. US Patent. 7,045,557 B2. 16 Mei 2006.
- [15]. Fies M, Endres H, and Ronald K. 2007. UV Curing resins based on renewable raw materials. Germany: Cognis Deutschland GmbH.
- [16]. Shah S, Shanna S, Gupta MN. 2003. Biodiesel preparation by lipase-catalysed transesterification of jatropha oil. *Energy & Fuels* 18:154-159.
- [17]. Sugita P, Sjahriza A, Arifin B, Suharto J. 2007. Optimization of *Jatropha curcas* L. methyl ester epoxidation with Amberlite IR-120 catalyst. Prosiding Seminar Internasional ICOWOBAS UNAIR Surabaya 7-8 Agustus 2007
- [18]. Meyer P, *et al.* 2008. Epoxidation of Soybean Oil and Jatropha Oil. *Thammasat Int J Sc Tech* Vol 13 Special edition, November 2008.
- [19]. Campanella A dan Baltanas MA. 2005. Degradation of the Oxirane Ring of Epoxidized Vegetable Oils in Liquid System: I. Hydrolysis and Attack by H₂O₂. *Latin American Applied Research*. 35:205-210.
- [20]. Petrovic ZS, Zlatanovic A, Lava CC, Sinadinovic-Fiser S. 2001. *Epoxidation of soybean oil in toluene with peroxyacetic and peroxyformic acids – Kinetics and side reactions*. Kansas: Pittsburg State University, Kansas Polymer Research Center.
- [21]. Gan LH, Ooi KS, Gan LM, Goh SH. 1995. Effect of epoxidation on thermal oxidative stabilities of fatty acid esters derived from palm olein. *J Am Oil Chem Soc* 72:439-442.
- [22]. Rangrajan B, Havey A, Grulke EA, Culnan PD. 1995. Kinetic parameter of a two phase model for *in-situ* epoxidation of soybean oil. *J Am Oil Soc* 72:1161-1169.
- [23]. Kong X. dan Narine SS 2007. Physical properties of polyurethane plastic sheets produced from polyols from Canola oil. *Biomacromolecules*, 8, 2203-2209.
- [24]. Mannari V, Y. Guo, J. Hardski and J. Maddingill, Jr. 2003. *Proceedings of the 94th American Oil Chemists Society Annual Meeting*, Kansas City, MI, USA.

BIOREMEDIASI SENYAWA HIDROKARBON PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH MINYAK BERAT MENGGUNAKAN TEKNIK *LANDFARMING*

Charlena¹⁾, Zainal Alim¹⁾, Abdul Haris²⁾, Fajar Kurniawan¹⁾

¹⁾Departemen Kimia FMIPA IPB

karlena22@yahoo.com

²⁾PPPTMGB LEMIGAS

ABSTRAK

Bioremediasi merupakan salah satu alternatif pengolahan tanah tercemari minyak. Dalam penelitian ini, bioremediasi dilakukan dengan teknik *landfarming* terhadap tanah yang tercemari limbah minyak bumi fraksi berat. Sampel tanah tersebut dicampur dengan tanah liat dan atau pupuk kompos dengan tambahan bakteri (bioaugmentasi) dan tanpa tambahan bakteri (biostimulasi). Bakteri yang digunakan merupakan konsorsium bakteri dari kotoran sapi dan kuda. Pengamatan dilakukan terhadap pH, kadar air, suhu, dan hidrokarbon minyak bumi total (TPH) untuk melihat terjadinya biodegradasi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sampel yang dicampur dengan pupuk kompos (1:1) secara bioaugmentasi memberikan nilai pH, kadar air, dan suhu yang sesuai untuk pertumbuhan bakteri (berturut-turut 6.5, 25%, dan 35 °C) sehingga mampu menurunkan nilai TPH sebesar 48%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa perlakuan tersebut merupakan yang terbaik untuk bioremediasi dalam pekerjaan ini. Analisis hidrokarbon dari campuran tanah-kompos tersebut setelah 16 minggu menggunakan kromatografi gas-spektroskopi massa menunjukkan penurunan jumlah hidrokarbon berbobot molekul besar.

Kata kunci: bioremediasi, senyawa hidrokarbon, *landfarming*, limbah minyak berat

1 PENDAHULUAN

Pencemaran minyak bumi di tanah merupakan ancaman yang serius bagi kesehatan. Pencemaran minyak bumi, meskipun dengan konsentrasi hidrokarbon yang sangat rendah dapat menimbulkan kerusakan lingkungan [10]. Berbagai kegiatan eksplorasi, eksploitasi, transportasi, penyimpanan, pengolahan dan distribusi minyak mentah maupun minyak olahan berpotensi untuk terjadinya kebocoran dan tumpahan minyak ke lingkungan (Pertamina 2005 yang diacu dalam Budianto [3]). Tanah yang terkontaminasi minyak tersebut dapat merusak lingkungan serta menurunkan estetika. Limbah minyak bumi dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup 128 Tahun 2003 [8]. Oleh karena itu perlu dilakukan pengelolaan dan pengolahan terhadap tanah yang terkontaminasi

minyak. Hal ini dilakukan untuk mencegah penyebaran dan penyerapan minyak ke dalam tanah.

Pengolahan limbah minyak bumi dapat dilakukan dengan cara fisika, kimia dan biologi. Salah satu alternatif yang dikembangkan saat ini adalah proses bioremediasi yang merupakan metode ramah lingkungan, cukup efektif dan efisien serta ekonomis [9]. Penanganan lahan tercemar minyak bumi menggunakan bioremediasi dilakukan dengan cara memanfaatkan mikroorganisme untuk menurunkan konsentrasi atau daya racun bahan pencemar. Kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi hidrokarbon telah digunakan sejak tahun 70-an dan 80-an pada lahan pertanian tempat pembuangan minyak [2].

Penelitian dilakukan pada tanah tercemar limbah minyak bumi yang berasal dari ladang minyak daerah Duri, Riau. Limbah tersebut diolah dengan bioremediasi dan dianalisis kandungan *total petroleum hydrocarbon* (TPH). *Heavy oil waste* (HOW) ini yang akan diberi perlakuan menggunakan metode *landfarming*. Hasil pengolahan limbah tersebut menghasilkan perubahan senyawa hidrokarbon dari rantai karbon panjang menjadi pendek. Keberhasilan proses degradasi dicirikan menggunakan instrumen kromatografi gas spektroskopi massa (GC-MS). Proses degradasi yang baik akan menghasilkan kandungan TPH di bawah 1% dengan jumlah C pada rantai hidrokarbon tidak lebih dari sepuluh [8].

Penelitian ini menentukan persen TPH pada tanah tercemar limbah minyak berat dan membandingkan perubahan senyawa hidrokarbon antara sebelum dan sesudah proses bioremediasi menggunakan GC-MS.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini terbagi dalam 3 tahap. Tahap pertama adalah preparasi sampel. Tahap kedua adalah perlakuan sampel dan tahap ketiga adalah analisis pH, suhu, kadar air, TPH, dan pengukuran GC-MS.

2.1 Preparasi Sampel

Preparasi sampel, yaitu pengumpulan bahan baku berupa tanah yang tercemar limbah minyak bumi, tanah liat, pupuk kompos, dan konsorsium bakteri. Limbah tanah digiling sehingga bentuknya menjadi kecil-kecil. Setelah itu tanah liat dikeringkan terlebih dahulu supaya mudah untuk dihaluskan. Sampel diberi perlakuan yang berbeda, yang terdiri atas limbah minyak (HOW) kode A, limbah minyak (HOW) ditambah

kompos kode B, limbah minyak (HOW) ditambah tanah liat kode C, dan limbah minyak (HOW) ditambah tanah liat dan kompos kode D dengan perbandingan yang berbeda-beda dengan bobot keseluruhan 10 kg dan dimasukkan ke dalam wadah seperti Gambar 1. Komposisi perlakuan sampel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Masing-masing perlakuan ada yang diperlakukan secara bioaugmentasi dengan dua kali pengulangan, dan sebagai kontrol yang diperlakukan secara biostimulasi.



Gambar 1 Bioreaktor untuk bioremediasi teknik *landfarming*

Tabel 1 Komposisi perbandingan perlakuan sampel

Kode	Komposisi (kg)			Keterangan
	HOW	Tanah Liat	Kompos	
A1	10	0	0	Bioaugmentasi
A0	10	0	0	Biostimulasi
B1	5	0	5	Bioaugmentasi
B0	5	0	5	Biostimulasi
C1	5	5	0	Bioaugmentasi
C0	5	5	0	Biostimulasi
D1	5	2.5	2.5	Bioaugmentasi
D0	5	2.5	2.5	Biostimulasi

Keterangan:

Bioaugmentasi = adanya penambahan bakteri

Biostimulasi = tanpa penambahan bakteri

2.2 Analisis TPH padat (US EPA [11])

Nilai TPH diukur menggunakan metode gravimetri. Sebanyak 2.5 gram sampel ditimbang kemudian dibungkus dengan kertas saring. Timbel yang telah dibuat tersebut dimasukkan dalam radas Soxhlet dan diekstrak dengan pelarut *n*-heksana selama 4 jam. Ekstrak yang diperoleh dihilangkan airnya menggunakan Na₂SO₄ anhidrat sebanyak 10 gram kemudian dihilangkan lemaknya dengan silika gel sebanyak 10 gram. Ekstrak yang diperoleh kemudian dipekatkan dengan penguap putar hingga kering. Labu yang telah kering dipanaskan dalam oven pada suhu 70 °C selama 10 menit kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

2.3 Pengukuran Struktur dengan GC-MS (US EPA [11])

Penentuan struktur dengan GC-MS dilakukan pada minggu ke-0, dan ke-16. Sebanyak 2.5 gram sampel ditimbang kemudian dibungkus dengan kertas saring. Timbel yang telah dibuat tersebut dimasukkan dalam soxhlet dan diekstrak dengan pelarut *n*-heksana selama 4 jam. Ekstrak yang diperoleh dihilangkan airnya menggunakan Na₂SO₄ anhidrat sebanyak 10 gram kemudian dihilangkan lemaknya dengan silika gel sebanyak 10 gram. Ekstrak yang diperoleh kemudian dipekatkan dengan penguap putar hingga kering. Ekstrak dan labu dicuci kembali dengan pelarut awal kemudian dimasukkan dalam tabung kecil. Ekstrak tersebut kemudian diinjeksi ke dalam alat GC-MS.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis pH

Nilai pH mempengaruhi kemampuan mikroorganisme dalam menjaga kelangsungan aktivitas-aktivitas seluler, transpor membran sel, dan kesetimbangan reaksi yang dikatalis enzim-enzimnya. Berdasarkan pengukuran pH yang dilakukan setiap minggu, pH yang terukur berkisar antara 4.00–7.00. Menurut Cookson [4] pH yang optimum bagi pertumbuhan bakteri adalah 7 dan memiliki rentang pH antara 4 dan 10, sedangkan untuk oksidasi nitrogen dan fermentasi metana berkisar antara 6 sampai 8. Degradasi hidrokarbon lebih cepat bila dilakukan pada kondisi pH di atas 7 dibandingkan dengan pH di bawah 5. Perlakuan pada sampel A dan C mengalami penurunan pH di bawah 5 yang menghambat proses degradasi, sedangkan pada perlakuan sampel B dan D kondisi pH tidak berada di atas 7 tetapi tidak sampai pada pH di bawah 5. Hal ini disebabkan adanya penambahan pupuk kompos yang bersifat netral. Pada semua sampel

terjadi peningkatan konsentrasi bahan organik yang akan menurunkan alkalinitas larutan, sehingga perlu ditambahkan CaCO_3 untuk mengembalikan pH larutan kembali normal.

Kecenderungan penurunan pH teramati pada setiap sampel dengan nilai penurunan yang hampir sama. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa akumulasi asam-asam organik sebagai hasil akhir metabolisme meningkat seiring dengan bertambahnya waktu inkubasi.

3.2 Analisis Kadar Air

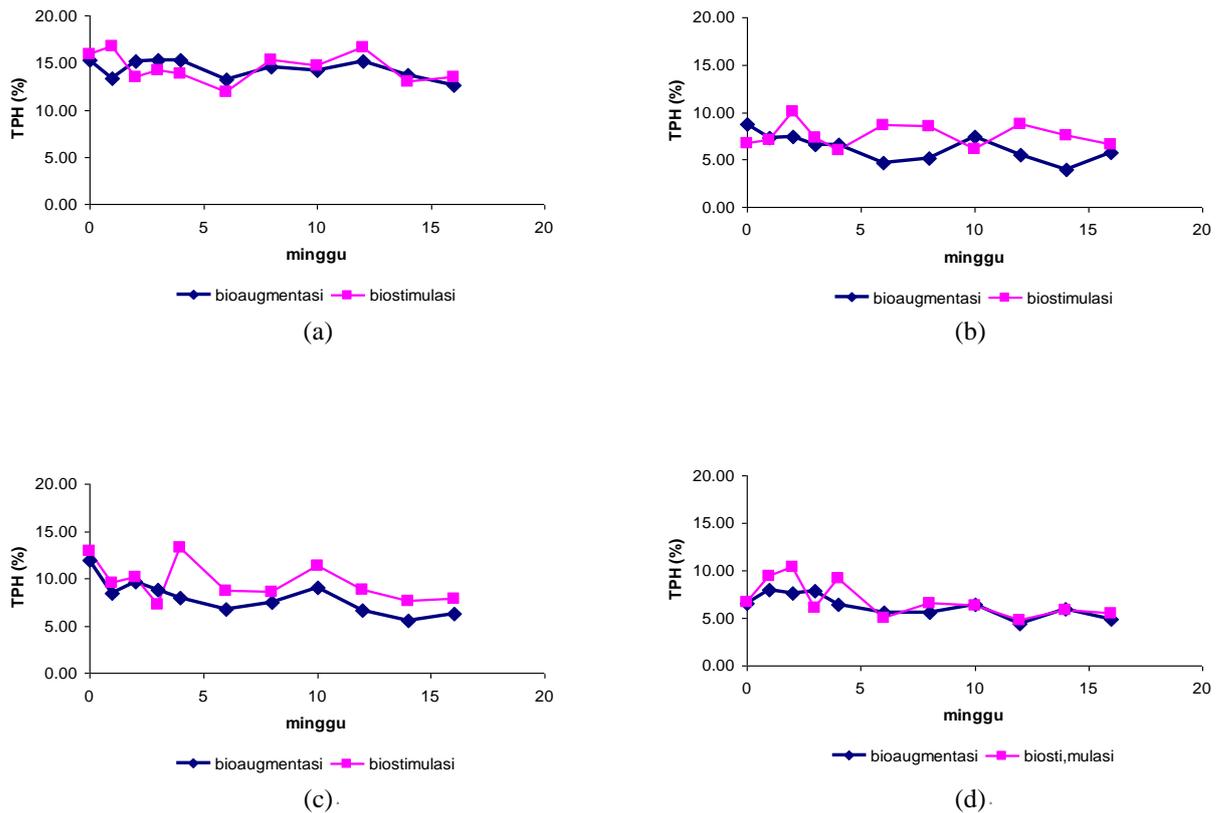
Kelembaban sangat penting untuk hidup, tumbuh dan aktivitas metabolik mikroorganisme. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan setiap minggu, rerata kadar air yang terukur pada sampel A, B, C, dan D bioaugmentasi berturut-turut sebesar 9%, 27%, 10%, dan 16%, sedangkan untuk sampel A, B, C, dan D biostimulasi berturut-turut sebesar 10%, 24%, 8%, dan 16%. Nilai yang bervariasi ini diakibatkan karena perbedaan perlakuan pada tiap sampel. Setiap minggunya dilakukan penambahan air pada sampel secara teratur. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada sampel A yang hanya berupa tanah liat yang tercemar limbah memiliki kapasitas menyimpan kadar air berkisar 10%, untuk sampel B yang menggunakan campuran kompos paling baik dalam menyimpan kadar air, karena kompos memiliki porositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah liat. Namun, kadar air sampel C lebih rendah dibandingkan dengan sampel A. Hal ini disebabkan campuran tanah liat memberikan penambahan bobot kering sehingga kadar airnya menurun. Untuk sampel D kadar airnya lebih kecil dibandingkan dengan sampel B, tetapi lebih besar jika dibandingkan dengan sampel A dan C. Hal ini dikarenakan pada sampel D adanya penambahan kompos.

Menurut Fletcher [7] selama bioremediasi, jika kandungan air terlalu tinggi akan berakibat sulitnya oksigen untuk masuk ke dalam tanah, sedangkan tanpa air mikroorganisme tidak dapat hidup dalam limbah minyak. Menurut Dibble dan Bartha [6] kadar air yang dibutuhkan bakteri untuk metabolisme dalam mendegradasi hidrokarbon berkisar antara 30–90%.

3.3 Analisis Suhu

Pada proses degradasi, suhu akan mempengaruhi terhadap sifat fisik dan kimia komponen-komponen minyak, kecepatan degradasi oleh mikroorganisme, dan komposisi komunitas mikroorganisme. Berdasarkan pengukuran suhu yang dilakukan setiap minggu, suhu yang terukur berkisar antara 27–51 °C. Menurut Leahly dan Colwell (1990) suhu untuk degradasi hidrokarbon yang optimal adalah 30–40 °C. Pada suhu rendah,

viskositas minyak akan meningkat mengakibatkan volatilitas alkana rantai pendek yang bersifat toksik menurun dan kelarutannya di air akan meningkat sehingga proses biodegradasi akan terhambat. Begitu juga pada suhu tinggi akan menghambat proses degradasi, karena dapat menyebabkan bakteri mati. Efek penghambatan tersebut juga disebabkan oleh penurunan aktivitas enzim mikrobial.



Gambar 2 Perbandingan nilai TPH bioaugmentasi dan biostimulasi selama 16 minggu sampel A(a), sampel B (b), sampel C (c), dan sampel D (d)

3.4 Analisis TPH

TPH merupakan faktor penting untuk melihat keberhasilan degradasi hidrokarbon minyak bumi. Pengukuran dilakukan setiap 2 minggu. Pada sampel A0 yang terdiri atas HOW saja tanpa ada penambahan bakteri TPH awal yang terukur menunjukkan nilai 15.84% dan di akhir pengukuran sebesar 13.43%. Penurunan TPH ini termasuk rendah karena pada A0 hanya HOW saja yang mengandalkan bakteri *indigenous* yang berasal dari HOW itu sendiri.

Sampel A1 yang terdiri atas HOW dengan penambahan konsorsium bakteri nilai TPH awal yang terukur sebesar 15.32% dan akhir pengukuran 12.61% (Gambar 2a).

Penurunan TPH pada A1 lebih baik daripada A0. Hal ini disebabkan adanya penambahan bakteri pada A1 sehingga proses degradasi lebih baik.

Pada sampel B menggunakan campuran kompos. Kompos ini bisa dijadikan media yang baik untuk kehidupan bakteri karena terdapat nutrisi yang bisa digunakan sebagai bahan makanan. Selain itu, di dalam kompos juga terdapat bakteri.

Sampel B0 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran kompos tanpa adanya penambahan bakteri TPH awal yang terukur menunjukkan nilai 12.84% dan diakhir pengukuran sebesar 7.82%, sedangkan pada sampel B1 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran kompos dan penambahan konsorsium bakteri nilai TPH awal yang terukur sebesar 11.96% dan akhir pengukuran 6.22% (Gambar 2b). Penurunan TPH pada B1 paling baik dibandingkan dengan perlakuan lain, karena adanya nutrisi dan penambahan bakteri.

Sampel C0 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran tanah liat tanpa adanya penambahan bakteri TPH awal yang terukur menunjukkan nilai 6.69% dan diakhir pengukuran sebesar 6.54%. Adanya perlakuan dengan penambahan tanah liat ini untuk mengkonduksikan dengan suasana asalnya di daerah Duri Riau, sedangkan pada sampel C1 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran tanah liat dan penambahan konsorsium bakteri nilai TPH awal yang terukur sebesar 8.73% dan akhir pengukuran 5.78% (Gambar 2c). Penurunan TPH yang tidak terlalu tinggi pada perlakuan C bisa dimungkinkan karena tanah liat tingkat porositasnya lebih kecil daripada kompos, sehingga penyebaran nutrisi tidak mudah terjadi.

Sampel D0 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran tanah liat dan kompos, tanpa adanya penambahan bakteri. TPH awal yang terukur menunjukkan nilai 6.69% dan diakhir pengukuran sebesar 5.53%, sedangkan pada sampel D1 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran tanah liat, kompos dan penambahan konsorsium bakteri, nilai TPH awal yang terukur sebesar 6.52% dan akhir pengukuran 4.87% (Gambar 2d). Hasil penurunan TPH pada sampel D lebih baik dibandingkan dengan sampel C. Hal ini disebabkan pada sampel D ada penambahan kompos yang kaya akan nutrisi dan bakteri.

Hasil pengukuran TPH secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 5. Penurunan TPH pada sampel A paling rendah, untuk bioaugmentasi sebesar 17.69% dan biostimulasinya 15.21%. Hal ini disebabkan pada sampel A hanya terdiri limbah saja. Penurunan TPH terbesar terjadi pada sampel B, untuk sampel bioaugmentasi B1 sebesar 48% dan biostimulasi B0 sebesar 39.10%. Hal ini disebabkan adanya penambahan kompos yang didalamnya kaya akan unsur hara dan bakteri dapat bekerja lebih baik

karena kondisi lingkungan pada sampel B yang lebih baik daripada sampel lainnya, yaitu rerata pH, kadar air dan suhu berturut-turut 6.5, 25%, dan 35° C. Pada sampel B1 penurunan lebih baik karena adanya penambahan bakteri. TPH yang terukur pada semua sampel menunjukkan grafik naik turun. Hal ini disebabkan kerja mikroorganismenya yang berbeda-beda. Biodegradasi minyak bumi oleh mikroorganismenya bisa terjadi di bawah kondisi aerobik maupun anaerobik, dan aktivitas degradasi tersebut merupakan reaksi yang umum terjadi di alam. Kondisi lingkungan yang berbeda akan mempengaruhi perbedaan aktivitas mikroorganismenya dalam mendegradasi senyawa polutan. Menurut Daubaras dan Chakrabarty [5], perubahan kondisi lingkungan juga akan mempengaruhi aktivitas mikroorganismenya di dalamnya. Aktivitas tersebut meningkat karena adanya ekspresi gen-gen tertentu untuk memproduksi enzim-enzim yang sesuai.

Terdapat perbedaan pada semua sampel antara hasil bioaugmentasi dengan biostimulasi. Untuk mengetahui hasil perlakuan dilakukan uji ragam (anova). Berdasarkan hasil uji statistik tersebut, secara keseluruhan perbedaan bioaugmentasi dengan biostimulasi tidak signifikan, tapi terbukti pada hasil akhir TPH pada bioaugmentasi lebih rendah dibandingkan dengan biostimulasi.

3.5 Perubahan Senyawa Hidrokarbon

Berdasarkan data kromatogram hasil GC-MS dapat dilihat perubahan senyawa hidrokarbon dari luas puncak yang terukur. Penentuan senyawa hidrokarbon berdasarkan data yang terdapat pada *library* menggunakan *CAS Number*. Hasil identifikasi sampel senyawa dari *library* dipilih yang memiliki kemiripan lebih dari 90.

Perubahan senyawa hidrokarbon pada keseluruhan sampel dapat dilihat pada Lampiran 7. Pada semua sampel proses biodegradasinya cukup beragam. Pada pengukuran awal teridentifikasi senyawa hidrokarbon dari C-6 sampai C-35. Setelah pengukuran pada minggu ke-16 atau akhir banyak senyawa berubah. Pada data kromatogram dapat dilihat penurunan kelimpahan atau *abundance*. Hal ini menunjukkan terjadinya proses degradasi senyawa hidrokarbon.

Pada degradasi *n*-alkana penyisipan molekul oksigen ke dalam struktur hidrokarbon terjadi pada gugus metil terminal maupun subterminal. *n*-alkana dioksidasi menjadi alkohol kemudian menjadi asam karboksilat, yang selanjutnya akan dilakukan pemisahan dua unit karbon secara berkesinambungan dan dikenal dengan sekuen β -oksidasi [4].

Perubahan senyawa hidrokarbon pada sampel A hampir sama dengan sampel C. Begitu juga dengan sampel B mirip dengan sampel D. Dari semua sampel yang paling rendah mengalami perubahan, yaitu sampel A. Hal ini dapat dilihat dari pengukuran diakhir, masih terdapat hidrokarbon rantai panjang, contohnya docosana (C-22) dengan luas puncak 0.25%.

Pengukuran pada minggu akhir banyak senyawa yang hilang. Walaupun pada sampel A dan C terjadi perubahan luas puncak, tetapi tidak terlalu signifikan, sedangkan pada sampel B dan D terjadi perubahan luas puncak yang signifikan. Hilangnya senyawa-senyawa pada akhir pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Senyawa yang hilang pada akhir pengukuran

Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D
tetrahidro 2-5 dimetil furan	tetrahidro 2-5 dimetil furan	tetrahidro 2-5 dimetil furan	dodekametil sikloheksasiloksana
oktametil siklotetra siloksana	oktametil siklotetra siloksana	dekametil siklopentasiloksana	tetradekana
pentatriakontana metil heksadekanoat	tetradekana pentadekana heksadekana heptadekana oktadekana pentatrikontana nonadekana metil heksadekanoat eikosana heneikosana dokosana 1-nonadekana	tetradekana pentadekana heksadekana pentatriakontana dokosana 1-nonadekana	pentadekana heksadekana heptadekana oktadekana pentatriakontana nonadekana metil heksadekanoat eikosana heneikosana dokosana 1-nonadekana

Tabel 3 Senyawa yang muncul pada akhir pengukuran

Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D
heksametilsiklotrisiloksana	toluena	heksametilsiklotrisiloksana	heptana
dodekana	oktametilsiklotetrasiloksana	benzotiazola metiloktadekanoat	toluena 1,3 dimetilbenzena

Hilangnya senyawa tersebut karena terjadi proses degradasi. Pada sampel A dan C tidak terlalu banyak senyawa yang hilang. Pada sampel A hanya 4 senyawa yang hilang

dan 8 senyawa pada sampel C. Pada sampel B yang merupakan penurunan TPH paling baik ditemukan banyak senyawa yang hilang (14 senyawa). Hal ini disebabkan bakteri bekerja lebih baik dan bakteri yang ada dalam kompos juga ikut mendegradasi hidrokarbon.

Senyawa-senyawa yang hilang hasil degradasi ini memungkinkan adanya senyawa baru yang muncul. Hal ini dapat dibuktikan pada hasil akhir pengukuran. Senyawa-senyawa tersebut sebagian besar memiliki memiliki panjang rantai C kurang dari 10 di antaranya heksametil siklotrisiloksana (C-6), toluene (C-7), benzotiazola (C-7) dan *n*-heptana (C-7). Senyawa-senyawa tersebut sulit didegradasi karena bersifat toksik bagi mikroorganisme. Senyawa-senyawa yang muncul dapat dilihat pada Tabel 3.

Senyawa-senyawa yang masih terdapat pada akhir pengukuran dapat dikatakan sebagai hidrokarbon yang sulit didegradasi oleh bakteri. Sebagai contoh pada sampel B senyawa hidrokarbon alifatik, yaitu dodekametil sikloheksasiloksana dengan luas puncak 0.20% pada sampel A dengan contoh senyawa yang sama masih memiliki luas puncak yang cukup besar, yaitu 1.61%.

4 SIMPULAN DAN SARAN

Penurunan TPH terjadi pada semua sampel dan penurunan terbesar terjadi pada bioaugmentasi B1 yang menggunakan campuran kompos sebesar 48%. Tetapi hasil masih jauh dari yang diharapkan karena kandungan TPH pada akhir masih lebih dari 4%. Terdapat perbedaan pada semua sampel antara hasil bioaugmentasi dengan biostimulasi. Walaupun perbedaan tidak terlalu signifikan, tapi terbukti pada hasil akhir TPH pada bioaugmentasi lebih rendah dibandingkan dengan biostimulasi.

Identifikasi awal menunjukkan bahwa semua sampel memiliki senyawa yang sama. Hasil akhir menunjukkan perubahan dengan hilangnya beberapa senyawa serta perubahan luas puncak. Pada sampel B yang merupakan penurunan TPH paling baik ditemukan paling banyak senyawa yang hilang.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 1999. *Official Methods of Analysis Chemist*. Washington: Association of Official Analytical Chemist, Inc.
- [2] Bossert ID, Kosson DS. 1997. Methods for measuring hydrocarbon biodegradation in soil. In *Manual of Environmental Microbiology*. ASM Pr. Washington. 738-742.

- [3] Budianto H. 2008. *Perbaikan Lahan Terkontaminasi Minyak Bumi Secara Bioremediasi*. Jakarta: Indonesia Environment Consultant.
- [4] Cookson JT. 1995. *Bioremediation Engineering : Design and Application*. New York: McGraw-Hill.
- [5] Daubaras D, Chakrabarty AM. 1992. The Environment, Microbes and Bioremediation: Microbial Activities Modulated by the Environment. *J Biodegradation* 3: 125-135. Kluwer Academic Pb. Netherland.
- [6] Dibble JT, Bartha R. 1979. Effect of environmental parameters on the biodegradation of oil sludge. *Applied Environ Microbiol.* 37:729-739.
- [7] Fletcher RD. 1991. Practical Consideration During Bioremediation. di dalam Wise, DL, DJ Trantolo. *Remediation of Hazardous Waste contaminated Soils*. New York: Marcel Dekker Inc.
- [8] [Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia]. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 tentang Tatacara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi Limbah Minyak Bumi secara Biologis. Jakarta: Departemen Lingkungan Hidup.
- [9] Morgan P, Watkinson RJ. 1994. *Biodegradation of Component Petroluem*. C Railedge, editor. *Biochemistry of Microbial Degradation*. Netherlands: Kluwer Academic Pb.
- [10] Nugroho A. 2006. Biodegradasi sludge minyak bumi dalam skala mikrokosmos. *Makara teknologi* 2: 82-89.
- [11] [USEPA] United State Environmental Protection Agency. 1996. *A Citizen's Guide to Bioremediation*. United State Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov>

STUDI KONDISI REAKSI KOPLING SILANG HECK MENGGUNAKAN KATALIS POP-PALADIUM

Sri Sugiarti^{1*}

¹Departemen Kimia, FMIPA IPB, Bogor

*sri.sw07@gmail.com

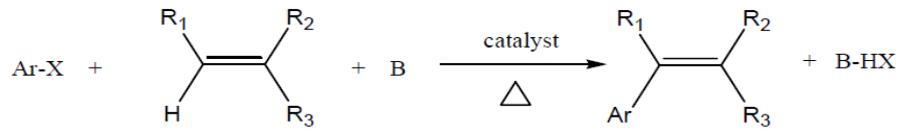
ABSTRAK

Reaksi pembentukan ikatan C-C melalui kopling silang senyawa alkena terminal dengan aril halida yang dikatalisis oleh logam paladium, dikenal sebagai reaksi Heck. Reaksi Heck merupakan “alat” yang sangat berguna dalam sintesis senyawa organik. Namun, pemanfaatannya secara luas terhambat oleh ketidakstabilan katalis paladium yang digunakan, serta mahalnya substrat yang digunakan sebagai bahan baku. Reaksi Heck klasik memanfaatkan kompleks tipe PdL₄ sebagai katalis dan Pd(0) dipercaya sebagai spesi aktif. Oleh karena itu Pd(0) harus distabilkan oleh ligan dengan halangan sterik yang besar. Kompleks PdL₄ tidak aktif terhadap reaksi Heck aril klorida. Penggunaan ligan pengkelat tipe PCP (fosfor-karbon-fosfor) menstabilkan logam Paladium menghasilkan kompleks PCP-Pd. Namun katalis ini hanya aktif terhadap aril bromida dan aril iodida, tidak terhadap aril klorida. Modifikasi ligan menghasilkan ligan pengkelat tipe POP (fosfor-oksigen-fosfor) dapat mengkatalisis reaksi Heck aril klorida. Namun tidak seluruh kompleks tipe POP-Pd aktif terhadap reaksi Heck aril halida. Penelitian ini mengamati kondisi reaksi yang aktif terhadap reaksi katalisis Heck untuk aril klorida. Ditemukan bahwa reaksi Heck menggunakan kompleks POP-Pd sangat tergantung pada basa yang ditambahkan ke dalam reaksi, juga bahwa ligan *ancillary* pada kompleks POP-Pd sangat berpengaruh. Kompleks POP-Pd-Cl aktif sebagai katalis untuk reaksi Heck aril klorida, namun kompleks POP-Pd-I tidak aktif.

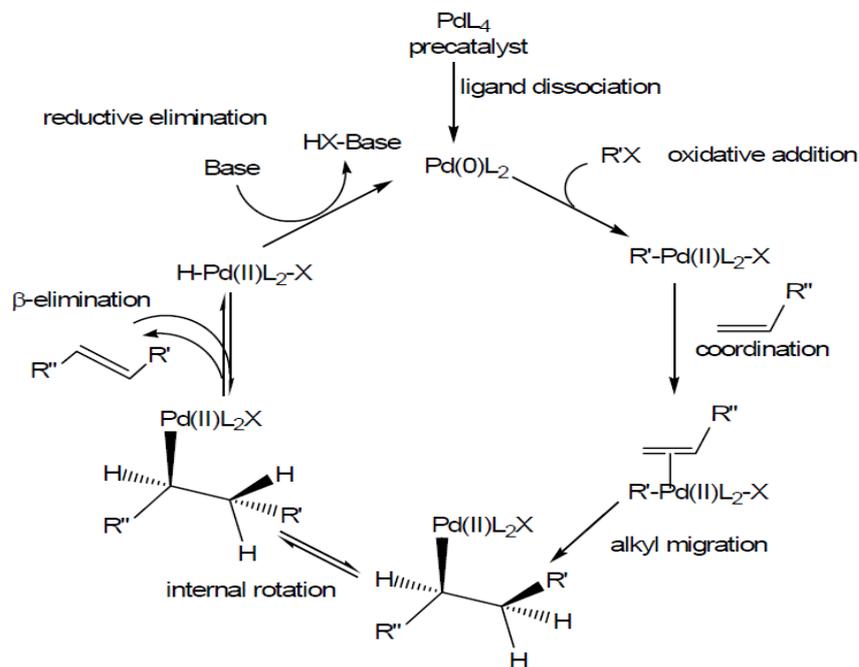
Kata Kunci: Reaksi Heck, logam paladium, ligan pengkelat POP, aril halida, alkena terminal

1 PENDAHULUAN

Vinilasi dari aril halida yang dikatalisis oleh palladium merupakan metode sintesis yang sangat penting untuk menghasilkan ikatan baru karbon-karbon (Heck 1968). Sejak ditemukan tahun 1960-an, reaksi Heck telah dipelajari secara intens oleh banyak ahli kimia sintesis. Dari sudut pandang sintesis, reaksi kopling silang (cross coupling) ini sangat menarik karena tingginya selektivitas kimia, dan kondisi reaksi ringan (mild), sehingga dikaitkan dengan rendahnya sifat toksik, dan biaya pereaksi yang digunakan. Metode ini telah digunakan pada sintesis intermediat bahan kimia murni seperti pada pembuatan Naproxen, obat pereda nyeri dan antiinflamasi (DeVries 2001). Reaksi Heck secara umum ditulis sebagai berikut:



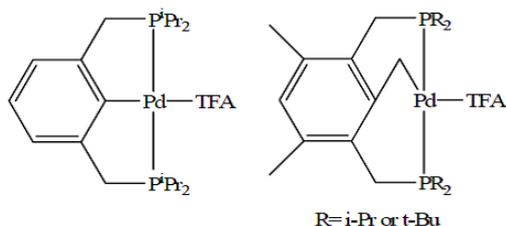
Biasanya reaksi ini melibatkan katalis paladium tetrakisfenilfosfin, Pd(PPh₃)₄, yang dibuat dari Pd(OAc)₂ dan 4 ekuivalen PPh₃ (Amatore 1992). Katalis ini hanya aktif pada katalisis kopling silang iodobenzena dan bromobenzena dengan alkena terminal. Katalis ini tidak aktif terhadap klorobenzena ditandai dengan rendahnya turnover number, TON (bilangan tukarganti), dan biasanya katalis tersebut akan terdekomposisi membentuk paladium logam walaupun telah menggunakan PPh₃ berlebih. Pada reaksi klasik Heck, paladium valensi nol dipercaya sebagai spesi aktif. Untuk itu logam pusat Pd harus distabilkan menggunakan 4 ekuivalen ligan fosfin dengan halangan sterik besar atau ligan fosfor yang bersifat donor kuat. Spesi aktif dipercayai terbentuk *in situ*, dan strukturnya belum diketahui secara pasti. Mekanisme reaksi Heck menggunakan katalis Pd(PPh₃)₄ dipercaya berlangsung melalui siklus Pd(0)/Pd(II) seperti terlihat pada Gambar 1 (Demeijere 1994).



Gambar 1 Mekanisme reaksi Heck klasik

Untuk mengatasi masalah dekomposisi katalis, Milstein (Ohhf 1997) mengusulkan penggunaan ligan pengkelat fosfor-karbon-fosfor (PCP). Kompleks,

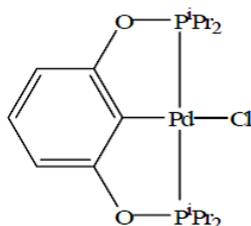
gambar 2, yang dihasilkan dari ligan pengkelat tersebut sangat stabil baik terhadap udara maupun panas, dan aktif sebagai katalis terhadap reaksi Heck iodobenzena dan bromobenzena dengan TON mencapai satu juta. Namun katalis tersebut tidak aktif terhadap reaksi Heck klorobenzena.



Gambar 2 Katalis Milstein

Tingginya TON yang dihasilkan menggunakan katalis Milstein, serta kuatnya ligan pengkelat memunculkan gagasan baru tentang mekanisme reaksi Heck menggunakan kompleks dengan ligan pengkelat PCP. Milstein meyakini bahwa pada siklus katalisis reaksi Heck kompleks PCP-Pd tidak mengalami reduksi menjadi Pd(0) karena kuatnya ligan pengkelat. Reaksi Heck menggunakan kompleks PCP-Pd diyakini melalui siklus Pd(II)/Pd(IV), meskipun Milstein tidak mengusulkan mekanisme reaksi yang baru.

Karena kompleks PCP-Pd tidak aktif terhadap reaksi Heck klorobenzena, namun sangat aktif terhadap halida benzena lainnya, untuk itu perlu dicari kompleks sejenis PCP-Pd yang aktif terhadap klorobenzena. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan modifikasi ligan. Ligan pengkelat PCP dapat dimodifikasi menjadi ligan fosfor-oksigen-fosfor, POP, sebagai pengkelat logam paladium membentuk kompleks POP-Pd. Morales-Morales (2000) telah melaporkan penggunaan kompleks POP-Pd pada reaksi Heck klorobenzena dengan hasil yang cukup baik yaitu TON mencapai 200, namun kelompok lain melaporkan bahwa kompleks sejenis ternyata tidak aktif terhadap reaksi Heck klorobenzena. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kondisi reaksi yang mendukung kereaktifan kompleks POP-Pd pada reaksi Heck klorobenzena. Katalis yang digunakan adalah POP-Pd-Cl seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3 Kompleks POP-Pd-Cl

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan teknik Schlenk dan glove-box dalam suasana inert dengan mengalirkan gas nitrogen. Seluruh bahan yang digunakan tidak dimurnikan terlebih dahulu, yaitu 1,4-dioksan, klorobenzena, iodobenzena, bromobenzena, CsOAc, Cs₂CO₃, dan tetrabutylamonium iodida. Kompleks POP-Pd-Cl disintesis menurut Morale-Morales (1999). POP-Pd-Br, POP-Pd-I dan POP-Pd-OAc dibuat menurut Wang (2003).

Identitas dan kemurnian produk diamati menggunakan kromatografi gas GC HP 5890 Series II dengan detektor selektif massa (GC-MS) yang dilengkapi dengan kolom kapiler HP-1MS (30 m) dari Hewlett Packard, dan menggunakan Spektroskopi NMR Varian Unity Inova 400.

2.1 Prosedur untuk Reaksi Kopleng Silang

Dalam suasana inert, larutan 0.924 mmol klorobenzena, 1.83 mmol stirena, 3.0 mg kompleks POP-Pd-Cl (0.0062 mmol), 1.01 mmol CsOAc dan 3 mL dioksane dimasukkan ke dalam tabung schlenck yang sudah dilengkapi dengan stir bar magnetik. Tabung kemudian ditutup dan dimasukkan ke dalam penangas minyak bersuhu 180oC hingga ketinggian minyak melebihi ketinggian larutan dalam tabung. Setelah 24 jam, campuran reaksi didinginkan ke suhu ruang, dan fase organiknya dianalisa menggunakan GC-MS.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi Heck menggunakan katalis POP-Pd-Cl dilakukan terhadap masing-masing substrat klorobenzena, bromobenzena, dan iodobenzena dengan stirena sebagai sumber olefin. Hasil reaksi diamati menggunakan GC-MS dan ³¹P NMR, dapat dilihat pada Tabel 1. Bromo- dan iodobenzena lebih reaktif dari klorobenzena, sehingga suhu reaksi

dapat diturunkan menjadi 100°C. Pada 100°C, reaksi Heck klorobenzena menghasilkan TON yang rendah sekali walaupun waktu reaksi telah ditambah menjadi 120 jam.

Tabel 1 Reaksi Heck Aril Halida Menggunakan Katalis POP-Pd-Cl

Campuran Reaksi	Suhu	Hasil (%)	³¹ P NMR (δ/ppm)
POP-Pd-Cl*	180°C	-	188
POP-Pd-Cl + klorobenzena	180°C	>99	188
POP-Pd-Cl + bromobenzena	100°C	>99	190
POPO-Pd-Cl + iodobenzena	100°C	>99	194

Keterangan: * hanya dilarutkan dalam CDCl₃

Identitas kompleks POP-Pd-Cl dapat diamati dengan mudah menggunakan ³¹P NMR, karena puncak-puncak pergeseran kimia (δ) untuk ³¹P sangat simpel. POP-Pd-Cl hanya memberikan satu puncak pergeseran kimia (δ), karena posisi kedua atom fosfor pada kompleks tersebut berada pada posisi trans. Pergeseran kimia (δ) untuk POP-Pd-Cl adalah 188 ppm. Dari tabel dapat terlihat bahwa terdapat pergeseran kimia (δ) baru setelah reaksi dihentikan. Untuk substrat bromobenzena, terdapat satu pergeseran kimia (δ) ke arah *downfield* yaitu pada (δ) = 190 ppm menunjukkan bahwa terdapat satu senyawa baru yang bukan merupakan POP-Pd-Cl. Demikian halnya pada iodobenzena, ³¹P NMR menunjukkan pergeseran kimia (δ) pada 194 ppm. Mengingat bahwa kompleks logam dengan ligan pengkelat POP sangat kuat, maka perubahan yang dapat terjadi adalah pada ligan *ancillary* -Cl. Untuk itu, dilakukan sintesis POP-Pd-Br dan POP-Pd-I untuk membuktikan dugaan tersebut. Hasil yang ditunjukkan oleh ³¹P NMR untuk kedua senyawa tersebut sesuai dengan yang diperoleh pada hasil akhir reaksi Heck bromobenzena dan iodobenzena.

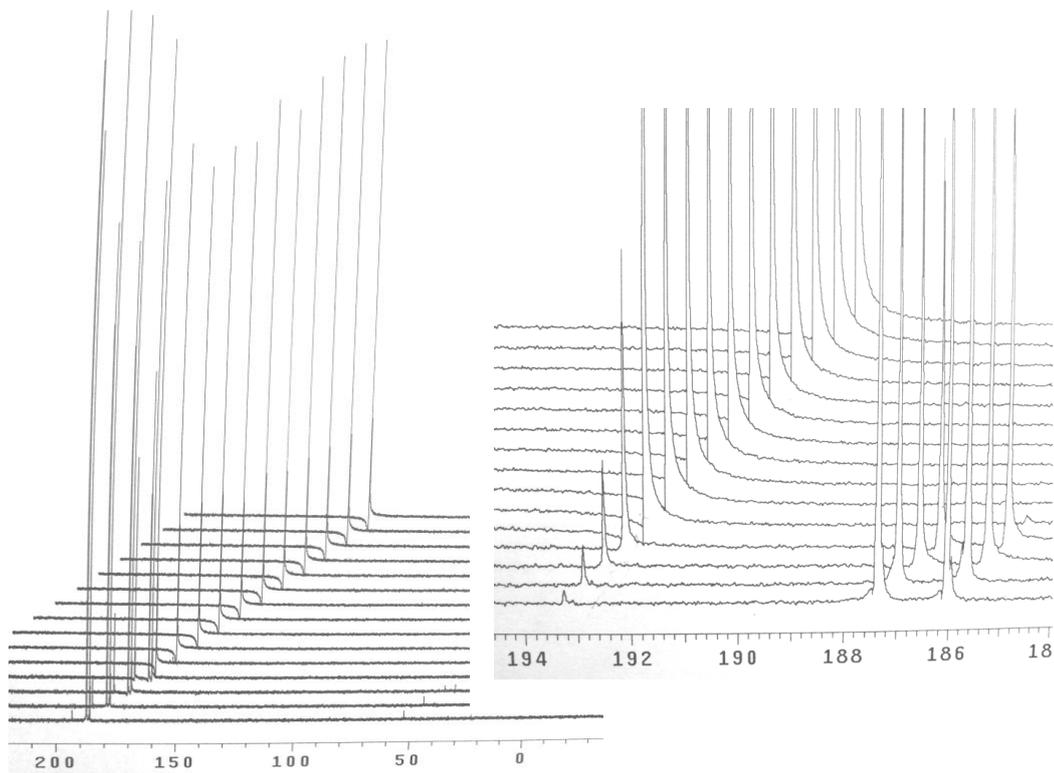
Pengamatan terhadap perubahan ligan *ancillary* pada kompleks POP-Pd-Cl juga diamati pada waktu reaksi (t) nol dan dua jam setelah reaksi, untuk mengetahui waktu penggantian ligan *ancillary* tersebut. Yang mengejutkan dari hasil tersebut, seperti terlihat pada Tabel 2, adalah munculnya pergeseran kimia (δ) baru pada ³¹P NMR yaitu pada (δ) = 187 ppm untuk seluruh campuran reaksi pada t= 0 jam. Pergeseran kimia (δ) baru tersebut lebih shielded sedikit, sehingga hanya mungkin diakibatkan oleh gugus penarik elektron lain yang kurang elektronegatif dibandingkan halida. Di dalam campuran reaksi, terdapat CsOAc yang bertindak sebagai basa, dan diyakini bahwa -OAc

dapat menggantikan ligan –Cl dari kompleks POP-Pd-Cl. Untuk itu, kompleks POP-Pd-OAc disintesis dan data ^{31}P NMR menunjukkan pergeseran kimia tunggal pada 187 ppm.

Tabel 2 Pergeseran Kimia (δ) ^{31}P untuk Reaksi Heck Aril Halida pada Waktu Reaksi 0 dan 2 Jam

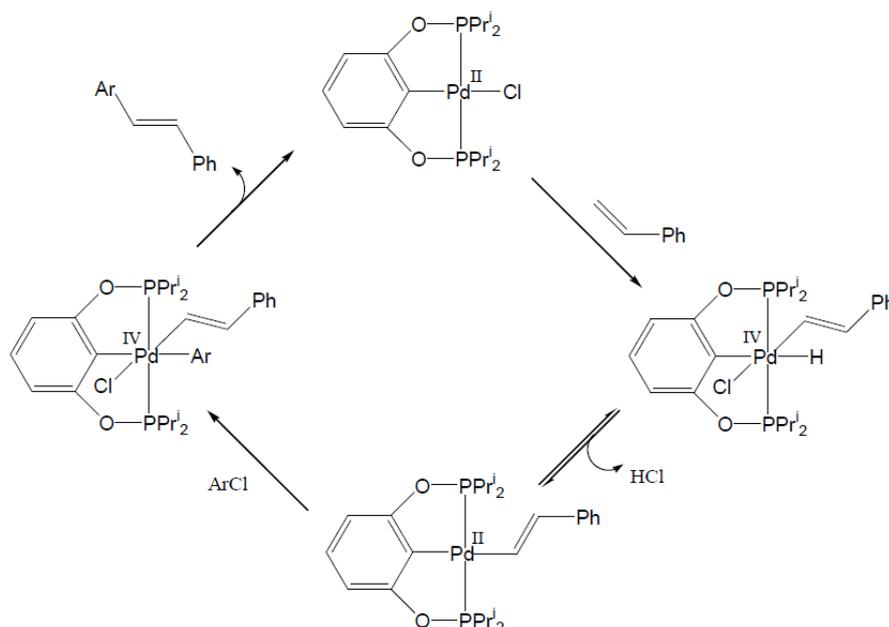
Campuran reaksi	t (jam)	^{31}P NMR (δ/ppm)
POP-Pd-Cl + klorobenzena	0	187, 188
	2	187, 188
POP-Pd-Cl + bromobenzena	0	187, 188
	2	187, 188, 190
POP-Pd-Cl + iodobenzena	0	187, 188
	2	187, 188, 194

Untuk mengamati lebih lanjut perubahan yang terjadi pada ligan *ancillary*, maka reaksi Heck untuk iodobenzena dilakukan pada suhu 100°C di dalam tabung NMR dan sinyal pergeseran kimia (δ) ^{31}P NMR diambil setiap 1 jam selama 15 jam. Reaksi Heck untuk klorobenzena tidak dapat diamati menggunakan metode ini karena reaksi Heck klorobenzena tidak aktif pada suhu 100°C . Dari hasil pengamatan tersebut terlihat bahwa terjadi kesetimbangan antara POP-Pd-Cl dengan POP-Pd-OAc pada empat jam pertama reaksi sebelum seluruh POP-Pd-Cl berubah menjadi POP-Pd-I seperti terlihat pada gambar 4.



Gambar 4 ^{31}P NMR Reaksi Heck Iodobenzena

Dari gambar 4 dapat pula ditarik kesimpulan bahwa selama reaksi tidak terlihat pembentukan senyawa lain yang menunjukkan bahwa terjadi dekomposisi kompleks POP-Pd-Cl, POP-Pd-OAc, maupun POP-Pd-Cl. Dengan demikian dapat disimpulkan pula bahwa katalisis reaksi Heck untuk iodobenzena tidak melalui pembentukan spesi Pd(0), dengan kata lain bahwa spesi aktif pada katalisis iodobenzena adalah Pd(II). Hal ini sesuai dengan dugaan yang diajukan oleh Morales-Morales (2000) bahwa kompleks POP-Pd-Cl dan analognya melakukan reaksi Heck melalui siklus Pd(II)/Pd(IV) seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 5 Dugaan Mekanisme Reaksi Heck untuk Kompleks POP-Pd-Cl

Dari Gambar 5 terlihat bahwa bila substratnya adalah iodobenzena, maka pada akhir reaksi akan terbentuk POP-Pd-I karena ligan -Cl telah dieliminasi reduktif dari intermediat pertama. Dengan demikian, dapat pula disimpulkan dari hasil reaksi Heck iodobenzena yang dipantau menggunakan ^{31}P NMR maupun dari mekanisme reaksi yang diajukan Morales-Morales, bahwa POP-Pd-Cl yang digunakan di awal reaksi, bukanlah katalis sebenarnya melainkan hanya prekursor. Untuk itu perlu dilakukan pengujian katalisis klorobenzena oleh ketiga kompleks tersebut, POP-Pd-Cl, POP-Pd-Br, POP-Pd-I, dan POP-Pd-OAc.

Dari pengamatan, diperoleh bahwa POP-Pd-I dan POP-Pd-Br tidak dapat melakukan reaksi Heck terhadap klorobenzena dibuktikan dengan TON sebesar 0, sementara POP-Pd-OAc dan POP-Pd-Cl memberikan TON yang serupa yaitu sekitar 200. Satu hal yang cukup menarik perhatian adalah, pada katalisis Heck klorobenzena menggunakan POP-Pd-OAc, di akhir reaksi seluruh POP-Pd-OAc telah berubah menjadi POP-Pd-Cl. Ketidakmampuan POP-Pd-I untuk mengkatalisis reaksi Heck klorobenzena diduga karena ketidakmampuan kompleks tersebut membuat kesetimbangan dengan POP-Pd-OAc, sementara POP-Pd-Cl dapat. Dapat pula disimpulkan bahwa POP-Pd-I dan POP-Pd-Br melakukan reaksi Heck melalui mekanisme yang berbeda dari katalis POP-Pd-Cl dan POP-Pd-OAc.

Untuk memastikan bahwa peran ligan -OAc sangat penting pada reaksi Heck klorobenzena, maka dilakukan juga pengamatan terhadap penggunaan basa Cs₂CO₃. Penggunaan basa Cs₂CO₃ menghasilkan TON yang sangat rendah seperti terlihat pada Tabel 3, selain itu terlihat pembentukan endapan hitam di akhir reaksi yang menunjukkan bahwa telah terjadi dekomposisi kompleks POP-Pd-Cl. ³¹P NMR menunjukkan pergeseran kimia (δ) pada 54 ppm mengindikasikan bahwa ligan POP telah teroksidasi dan logam Pd(II) tereduksi menjadi logam Pd(0) dan mengendap.

Tabel 3 Reaksi Katalisis Heck Klorobenzena dengan Empat Jenis Katalis

Katalis	Basa	TON	³¹ P NMR (δ/ppm)
POP-Pd-Cl	CsOAc	200	188
POP-Pd-Br	CsOAc	0	190
POP-Pd-I	CsOAc	0	194
POP-Pd-OAc	CsOAc	~ 200	188
POP-Pd-Cl	Cs ₂ CO ₃	30	54

Keterangan: reaksi dilakukan selama 24 jam

4 KESIMPULAN

Reaksi katalisis Heck klorobenzena sangat tergantung pada basa yang digunakan. Reaksi Heck menggunakan katalis POP-Pd-Cl sangat aktif pada penggunaan basa CsOAc dan sangat tergantung pada ligan *ancillary* -OAc. Kompleks POP-Pd-Br dan POP-Pd-I tidak dapat digunakan sebagai katalis reaksi Heck klorobenzena. Seluruh kompleks yang digunakan tidak terdekomposisi selama reaksi berlangsung, sehingga disimpulkan bahwa spesi aktif dari katalis-katalis tersebut adalah Pd(II) bukan Pd(0) seperti pada reaksi Heck klasik.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Heck RF. 1968. Arylation, methylation and Carboxyalkylation of olefins by group VIII metal derivatives. *Journal of the American Chemical Society* 90: 5518-5526
- [2] DeVries JG. 2001. The Heck reaction in the production of fine chemicals. *Canadian Journal of Chemistry* 79: 1086-1092

- [3] Amatore C, Jutand A, Mbarki MA. 1992. Evidence of the formation of zerovalent palladium from Pd(OAc)₂ and triphenylphosphine. *Organometallics* 11: 3009-3013
- [4] Demeijere A, Meyer FE. 1994. "fine feathers make fine birds: the Heck reaction in modern garb". *Angewandte Chemie-International edition* 33:2379-2411
- [5] Ohff M, Ohff A, vanderBoom ME, Milstein D. 1997. Highly Active Pd(II) PCP-Type Catalysts for the Heck Reaction. *Journal of the American chemical society* 119:11687-11688
- [6] Morales-Morales D, Grause C, Kasaoka K, Redon R, Cramer RE, Jensen CM. 2000. Highly efficient and regioselective production of trisubstituted alkenes through heck couplings catalyzed by a palladium phosphinito PCP pincer complex. *Inorganica chimica Acta* 300:958-963
- [7] Morales-Morales D, Redon R, Yung C, Jensen CM. 2000. High yield olefination of a wide scope of aryl chlorides catalyzed by the phosphinito palladium PCP pincer complex: [PdCl{C₆H₃(OPPrⁱ)₂}-2,6}. *Chemical Communications* 1619-1620
- [8] Wang Z, Eberhard MR, Jensen CM, Matsukawa S, Yamamoto Y. 2003. A structure-activity relationship for pincer palladium(II) complexes—influences of ring-size of metallacycles on the activity in allylic alkylation. *Journal of Organometallic Chemistry* 681:189-195

OPTIMASI DAN EVALUASI MIKROENKAPSULASI MEDROKSIPROGESTERON ASETAT TERSALUT POLI(ϵ - KAPROLAKTON) DENGAN LILIN LEBAH

Tetty Kemala*, Ahmad Sjahriza, Guslina Isriany

Departemen Kimia FMIPA IPB
Tetty.kemala@yahoo.com

ABSTRAK

Salah satu teknik menyalut obat dengan suatu material polimer adalah mikroenkapsulasi. Tujuan enkapsulasi obat adalah mengendalikan pelepasan obat sehingga efek samping obat dapat dikurangi. Pada penelitian ini, medroksiprogesteron asetat (MPA) disalut oleh poli(ϵ -kaprolakton) (PCL) dan lilin lebah. Emulsifikasi-penguapan pelarut merupakan metode yang digunakan untuk membuat mikrokapsul MPA dengan ragam nisbah PCL:lilin lebah 7:3; 8:2; dan 9:1 dan konsentrasi pengemulsi poli(vinil alkohol) 1%; 2%; dan 3%. Efisiensi mikrokapsul tertinggi adalah 83.47% pada mikrokapsul dengan nisbah PCL:lilin lebah 9:1 dan konsentrasi PVA 3%. Kinetika pelepasan MPA mengikuti model kinetika Korsmeyer-Peppas dengan mekanisme pelepasan obat *super case-II transport*. Mikrokapsul yang dihasilkan memiliki kisaran ukuran 67–144 μm dengan inti yang terdispersi secara homogen pada matriks polimer.

Kata kunci: mikroenkapsulasi, emulsifikasi, medroksiprogesteron asetat, lilin lebah, poli(ϵ -kaprolakton).

1. PENDAHULUAN

Medroksiprogesteron asetat (MPA) merupakan senyawa aktif kontrasepsi hormon steroid (meliputi kontrasepsi oral, injeksi, dan implan) yang sangat efektif dan digunakan secara luas. Prinsip kerja MPA adalah mencegah ovulasi, mengentalkan lendir serviks, menipiskan selaput lendir rahim, dan menghambat transportasi gamet. Kontrasepsi MPA biasanya dikonsumsi oleh perempuan reproduktif, yaitu 15–49 tahun dan rentang waktu konsumsi obat ini 24–36 jam. Selain dapat menyebabkan penambahan bobot badan, osteoporosis, dan gangguan haid, senyawa ini juga dapat meningkatkan ovulasi jika dikonsumsi lebih dari 36 jam [1]. Sistem pengantaran obat secara khusus diperlukan MPA untuk mengatasi hal tersebut.

Mikroenkapsulasi merupakan proses penyalutan zat aktif padat atau cair dengan suatu material polimer dalam bentuk mikrokapsul [2]. Di bidang farmasi, teknologi enkapsulasi bertujuan mengurangi rasa pahit obat, memisahkan material yang tidak kompatibel, mencegah kerusakan obat yang diakibatkan oleh uap air dan cahaya,

mengurangi risiko iritasi lokal organ atau jaringan yang ditimbulkan obat, mengendalikan pendistribusian obat, serta mengoptimalkan penyerapan obat [3,4].

Bahan penyalut mikrokapsul yang banyak digunakan saat ini adalah golongan poliester alifatik yang bersifat degradabel. Salah satunya adalah poli(ϵ -kaprolakton) (PCL). Poli(ϵ -kaprolakton) memiliki permeabilitas tinggi, biodegradabel, biokompatibel, dan tidak beracun. Di sisi lain, PCL memiliki kristalinitas yang tinggi dan waktu degradasi yang lama. Pencampuran PCL dengan makromolekul dapat dilakukan untuk mengatasi hal tersebut [5].

Lilin lebah merupakan makromolekul yang terdiri atas *n*-alkana jenuh dan takjenuh, ester rantai panjang, asam lemak, diester, hidroksiester, dan penyusun minor lainnya, seperti flavonoid [6]. Lilin lebah dapat digunakan sebagai bahan penyalut mikrokapsul dan memiliki beberapa kelebihan, yaitu stabil pada beberapa nilai pH dan tingkat kelembapan, biokompatibel, tidak imunogenik, tidak beracun, dan tidak menyebabkan peningkatan dosis obat [7]. Campuran PCL dengan lilin lebah diharapkan menghasilkan polimer kompatibel yang memiliki permeabilitas dan waktu degradasi lebih baik, serta mempermudah pencampuran bahan aktif dengan matriks paduan. Bahan aktif yang tidak larut air seperti MPA akan mudah bercampur dengan matriks lilin lebah dan menunjukkan tingkat penyerapan yang baik [4]. Selain itu, pencampuran tersebut dapat mengurangi biaya yang dibutuhkan karena lilin lebah relatif lebih murah dibandingkan dengan PCL.

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk pengungkungan bahan aktif hidrofobik seperti MPA adalah metode emulsifikasi-penguapan pelarut [8]. Pada metode ini, dibutuhkan pengemulsi seperti poli(vinil alkohol) (PVA) untuk menstabilkan larutan polimer dan obat dengan air. Poli(vinil alkohol) sudah banyak digunakan sebagai pengemulsi dalam pembuatan mikrokapsul tersalut-poliester. Gugus hidroksil (hidrofilik) dari PVA yang bersifat polar akan berikatan dengan molekul air, sedangkan rantai vinilnya (hidrofobik) akan berikatan dengan polimer (PCL-lilin lebah) sehingga emulsi menjadi lebih stabil [9]. Menurut Kemala besarnya konsentrasi PVA yang digunakan akan mempengaruhi stabilitas emulsi dan ukuran kapsul [10]. Ukuran kapsul yang seragam meningkatkan efisiensi dan laju disolusi bahan aktif yang telah dikungkung.

Penelitian ini bertujuan membuat mikrokapsul MPA tersalut PCL-lilin lebah, menganalisis efisiensi mikrokapsul MPA, mempelajari pengaruh variasi nisbah PCL:lilin lebah dan konsentrasi pengemulsi terhadap mikrokapsul yang dihasilkan, mempelajari model kinetika pelepasan MPA berdasarkan koefisien determinasi (R^2) dengan

menggunakan persamaan orde reaksi ke-0, ke-1, dan Korsmeyer-Peppas, serta mempelajari morfologi mikrokapsul.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah PCL (Sigma Aldrich, Germany), lilin lebah, PVA (Merck), MPA (BKKBN), diklorometana, etanol 96%, larutan HCl pH 1.2, dan larutan bufer fosfat ($\text{NaH}_2\text{PO}_4\text{-Na}_2\text{HPO}_4$) pH 7.4. Alat-alat yang digunakan adalah pengaduk magnetik, mikroskop, spektrofotometer UV-Vis 1700 PharmaSpec, alat disolusi tipe dayung Guoming RC-6, dan mikroskop elektron payaran (SEM) Jeol/EO-JSM-6510, PC-SEM M600 Vacuum Evaporator.

2.2 Pembuatan mikrokapsul MPA [11]

PCL dan lilin lebah pada berbagai komposisi dilarutkan dalam diklorometana kemudian diaduk hingga homogen. Setelah itu, MPA dicampurkan ke dalam larutan paduan tersebut. Campuran kemudian didispersikan ke dalam air yang mengandung PVA dengan konsentrasi 1, 2, dan 3% menggunakan motor pengaduk, lalu didekantasi hingga mikrokapsul yang terbentuk mengendap. Mikrokapsul yang diperoleh disaring, dicuci dengan akuades, dan dikeringudarkan selama 1 hari.

2.3 Efisiensi mikrokapsul [12]

Sebanyak 2.5 mg mikrokapsul dilarutkan dalam 20 mL etanol 96%, diaduk dengan pengaduk magnetik selama 3 jam, dan filtratnya disaring. Absorbans filtrat dibaca dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Absorbans yang diperoleh digunakan untuk menentukan konsentrasi MPA dengan bantuan kurva standar.

2.4 Uji disolusi secara *in vitro* [13]

Sebanyak 200 mg mikrokapsul yang diperoleh pada kondisi optimum didisolusi dalam 900 mL medium simulasi (larutan HCl pH 1.2 dan bufer fosfat pH 7.4) menggunakan alat disolusi tipe 2 (tipe dayung). Pengujian dilakukan pada suhu (37 ± 0.5)

°C dengan kecepatan pengadukan 100 rpm selama 360 menit. Setiap 15 menit, alikuot diambil sebanyak 10 mL selama 360 menit. Setiap kali pengambilan alikuot, volume medium simulasi yang diambil digantikan dengan medium simulasi yang baru dengan volume dan suhu yang sama. Alikuot disaring dan ditentukan serapan MPA dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ_{maks} . Data pengukuran yang diperoleh digunakan untuk mempelajari model kinetika pelepasan MPA.

2.5 Morfologi mikro kapsul

Pengamatan morfologi mikro kapsul dilakukan terhadap 1 formula dengan menggunakan mikroskop cahaya dan SEM. Pengamatan menggunakan SEM dilakukan dengan cara melapisi mikro kapsul dengan emas dan dilihat pada pembesaran 1200×, 400×, dan 150×.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Mikro kapsul MPA

Mikro kapsul MPA tersalut PCL-lilin lebah yang dihasilkan berbentuk serbuk, halus, dan berwarna putih (Gambar 1). Mikro kapsul yang terbentuk merupakan paduan yang homogen. Campuran homogen tercapai jika tidak terlihat lagi perbedaan antara komponen-komponen penyusunnya, baik dalam bentuk maupun warna, karena semua komponen telah tercampur secara merata.

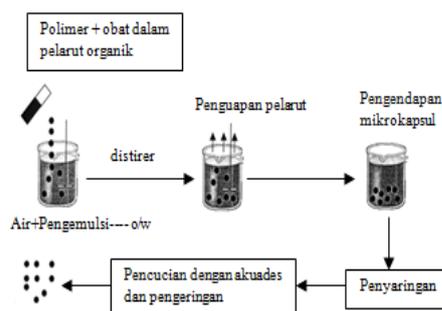


Gambar 1 Mikro kapsul MPA tersalut PCL-lilin lebah.

Metode yang digunakan untuk pembuatan mikro kapsul adalah emulsifikasi-penguapan pelarut, yaitu bahan penyalut (PCL dan lilin lebah) dan bahan aktif (MPA) dilarutkan dalam pelarut organik (diklorometana) kemudian didispersikan dalam air yang berisi pengemulsi sehingga terbentuk mikro kapsul (Gambar 2). Obeidat menyatakan bahwa metode emulsi-penguapan pelarut menghasilkan mikro kapsul dengan mekanisme pelepasan material yang dikungkung secara optimum karena material tersebut terdispersi

secara homogen pada matriks polimer sehingga ideal untuk sistem pengantaran bahan aktif [14].

Diklorometana digunakan sebagai pelarut karena menguap pada suhu 39 °C sehingga penguapan pelarut berlangsung cepat. Bodmeier menyatakan bahwa diklorometana merupakan pelarut terbaik untuk poliester dibandingkan dengan kloroform atau benzena, dan dapat menghasilkan efisiensi mikrokapsul lebih tinggi [15].



Gambar 2 Tahap pembentukan mikrokapsul dengan metode emulsifikasi-penguapan pelarut [16].

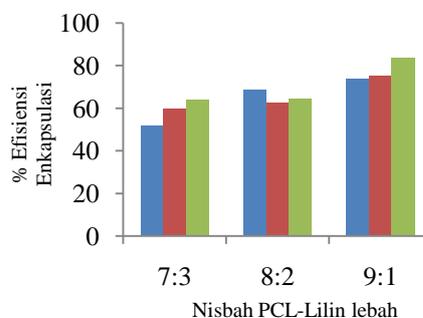
Pengemulsi yang digunakan adalah PVA yang merupakan polimer ampifilik dan mampu teradsorpsi pada antarmuka [17]. Pengemulsi berfungsi menstabilkan emulsi larutan paduan PCL-lilin lebah dan MPA dalam diklorometana dengan air melalui pengikatan gugus hidroksil (hidrofilik) PVA dengan molekul air, dan rantai vinil (hidrofobik) dengan diklorometana [9].

3.2 Efisiensi mikrokapsul

Efisiensi mikrokapsul merupakan salah satu parameter yang menunjukkan keberhasilan proses enkapsulasi. Efisiensi menunjukkan persen senyawa aktif (MPA) yang dapat disalut dalam mikrokapsul. Semakin tinggi efisiensi mikrokapsul berarti semakin banyak MPA yang tersalut.

Efisiensi mikrokapsul yang dihasilkan berkisar 51.55–83.47% (Gambar 3). Efisiensi mikrokapsul terendah dihasilkan oleh mikrokapsul formula AA, dan efisiensi tertinggi dihasilkan oleh mikrokapsul formula CC. Perbedaan hasil ini dipengaruhi oleh nisbah paduan PCL-lilin lebah, yaitu 7:3 pada mikrokapsul AA dan 9:1 pada mikrokapsul CC. Lilin lebah yang lebih banyak pada penyalut menyebabkan komponen penyalut dengan bobot molekul rendah bertambah sehingga akan lebih sulit untuk mengungkung MPA. Lilin lebah memiliki bobot molekul sekitar 868 g mol^{-1} . Halder menyatakan bahwa

salah satu faktor yang menyebabkan tingginya efisiensi mikro kapsul adalah nisbah antara bahan penyalut dan bahan inti. Semakin banyak jumlah penyalut, kemampuannya untuk menahan laju pelepasan semakin besar [18].



Gambar 3 Efisiensi mikro kapsul MPA dengan konsentrasi PVA,

= 1% = 2% = 3%.

Konsentrasi pengemulsi juga merupakan faktor yang berpengaruh terhadap efisiensi mikro kapsul. Pada nisbah paduan 7:3, dan 9:1, peningkatan konsentrasi PVA menunjukkan peningkatan efisiensi mikro kapsul. Pada nisbah paduan 8:2, hal tersebut tidak terjadi, mungkin disebabkan oleh kecepatan pengadukan yang tidak homogen atau waktu dispersi yang tidak seragam. Efisiensi mikro kapsul tertinggi, yaitu 83.47%, terjadi pada konsentrasi PVA 3%.

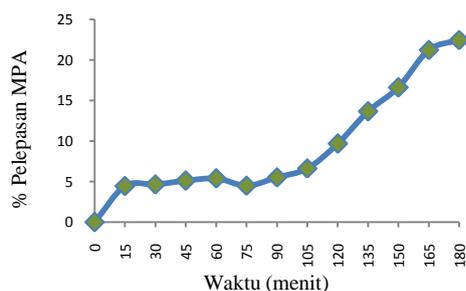
3.3 Pelepasan Obat

Disolusi adalah proses transfer massa dari permukaan padat ke medium disolusi pada kondisi suhu dan komposisi pelarut terkendali. Proses disolusi obat terdiri atas 3 tahap. Tahap pertama adalah penetrasi media disolusi ke dalam matriks kapsul (hidrasi), tahap kedua adalah pembengkakan dan erosi matriks kapsul, dan tahap ketiga adalah perpindahan senyawa obat keluar dari matriks kapsul yang terhidrasi menuju media disolusi. Proses disolusi dipengaruhi oleh laju alir rata-rata cairan disolusi ke arah lapisan penghubung fase padat-cair, reaksi di lapisan penghubung fase padat-cair, dan difusi molekul obat dari lapisan penghubung fase padat-cair ke medium disolusi [19].

Salah satu tujuan mikroenkapsulasi MPA adalah menahan laju pelepasan MPA. Pada penelitian ini, proses disolusi dilakukan secara *in vitro* pada medium simulasi cairan lambung (medium asam larutan HCl pH 1.2) selama 180 menit dan medium simulasi cairan usus (medium basa bufer fosfat pH 7.4) selama 360 menit. Pelepasan obat di

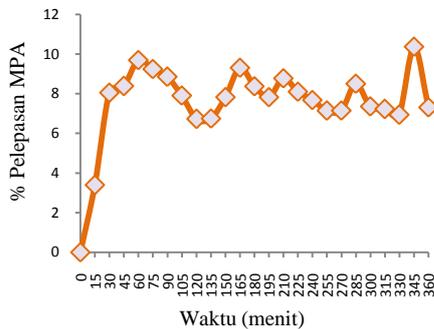
lambung biasanya berlangsung selama 3 jam [20]. Mikrokapsul yang diuji disolusi adalah mikrokapsul formula CC dengan efisiensi mikrokapsul tertinggi, yaitu 83.47%.

Pelepasan MPA pada medium asam mengalami kenaikan yang konstan hingga menit ke-180 (Gambar 4). Pelepasan MPA di medium basa mengalami kenaikan hingga menit ke-60, lalu pelepasannya mengalami fluktuasi hingga menit ke-360. Penurunan pelepasan MPA pada menit ke-75 hingga menit ke-120 menunjukkan bahwa tidak ada MPA yang terlepas pada rentang waktu tersebut, dan pelepasan MPA kembali terjadi pada menit ke-135 hingga menit ke-165 (Gambar 5). Pada sistem pengantaran obat oral, jumlah pelepasan bahan aktif di lambung (medium asam) diharapkan lebih sedikit karena proses absorpsi nutrisi atau obat berlangsung di usus [20]. Pada sistem pengantaran obat implan, jumlah pelepasan bahan aktif di plasma (medium basa) seharusnya konstan atau tidak di atas konsentrasi minimum beracun dan tidak di bawah konsentrasi minimum efektif [19].



Gambar 4 Pelepasan MPA dari mikrokapsul formula CC terhadap waktu (menit) pada medium asam.

Profil disolusi mikrokapsul CC pada medium basa menunjukkan adanya *initial burst release* pada menit ke-15 hingga menit ke-60 karena pelepasan MPA pada menit ke-60 di medium basa lebih besar, yaitu 9.69% dibandingkan di medium asam, yaitu 5.39%. Huang dan Brazel menyatakan bahwa *initial burst release* dapat disebabkan karena adanya bahan aktif yang tersalut pada permukaan [21].



Gambar 5 Pelepasan MPA dari mikrokapsul formula CC terhadap waktu (menit) pada medium basa.

3.4 Kinetika Pelepasan Obat

Kinetika pelepasan obat dapat menggambarkan laju pelepasan obat dan model pelepasannya. Model kinetika pelepasan MPA ditentukan berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) persamaan orde ke-0, ke-1, dan Korsmeyer-Peppas tertinggi. Kinetika pelepasan MPA dikaji menggunakan data uji disolusi mikrokapsul formula CC pada medium asam (larutan HCl pH 1.2) dan medium basa (bufer fosfat pH 7.4).

Pelepasan MPA dari mikrokapsul formula CC menunjukkan model kinetika Korsmeyer-Peppas karena memiliki nilai R^2 yang lebih tinggi dibandingkan dengan model kinetika lainnya, yaitu 0.9951 pada medium asam dan 0.9993 pada medium basa. Nilai n pada model Korsmeyer-Peppas digunakan untuk menentukan mekanisme pelepasan obat. Nilai n yang lebih besar dari 0.89, yaitu 0.8902 pada medium asam dan 0.9226 pada medium basa (Tabel 1), menunjukkan karakter mekanisme pelepasan obat berdasarkan *super case-II transport* yang terjadi karena penguraian dan erosi polimer [19]. Ada beberapa proses yang terjadi pada mekanisme pelepasan obat *super case-II transport*, yaitu difusi air ke mikrokapsul, membesarnya mikrokapsul akibat masuknya air, pembentukan gel, difusi bahan aktif dari matriks polimer, dan rusaknya matriks polimer.

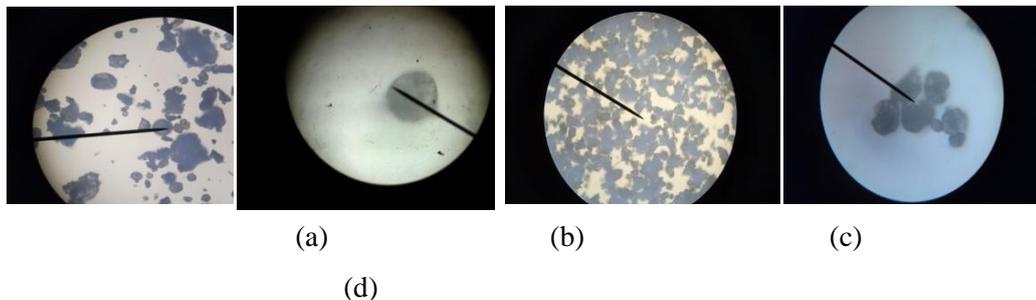
Tabel 1 Parameter pelepasan MPA dari mikrokapsul formula CC

Medium Disolusi	Orde ke-0		Orde ke-1		Korsmeyer –Peppas	
	R^2	k_0	R^2	k_1	R^2	n
Asam	0.8566	0.0164	0.2749	8.4543	0.9951	0.8902
Basa	0.8396	0.0229	0.5239	14.9357	0.9993	0.9226

3.5 Morfologi Mikro kapsul

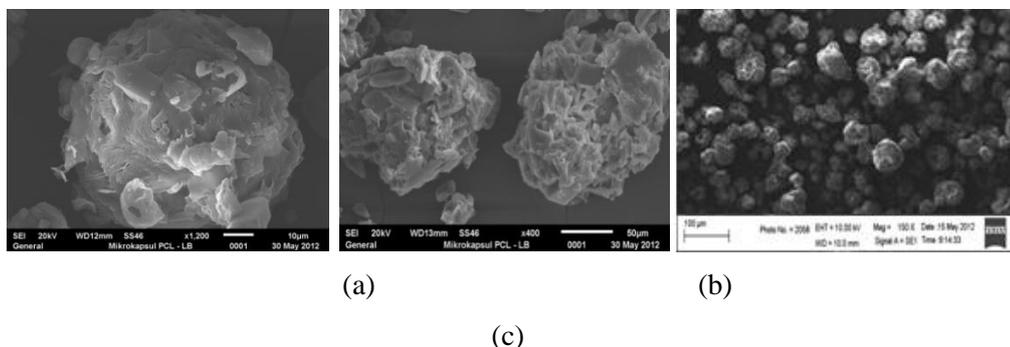
Hasil analisis mikro kapsul MPA tersalut PCL-lilin lebah menggunakan mikroskop menunjukkan bahwa mikro kapsul kosong tampak lebih bulat dan transparan dibandingkan setelah penambahan MPA yang tampak lebih gelap (Gambar 6). Hal ini menunjukkan bahwa MPA tersebar pada matriks polimer.

Hasil analisis mikro kapsul MPA dengan SEM menunjukkan bahwa mikro kapsul berbentuk bulat dengan permukaan tidak rata yang disebabkan oleh partikel MPA yang menempel pada permukaan mikro kapsul (Gambar 7). Hal ini menyebabkan *initial burst release* atau pelepasan bahan aktif (MPA) yang berlebih dari matriks polimer [15].



Gambar 6 Foto mikroskop mikro kapsul kosong pada perbesaran 10× (a) dan 40× (b), dengan mikro kapsul MPA pada perbesaran 10× (c) dan 40× (d).

Ukuran mikro kapsul yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar 67–144 μm . Jain menyatakan bahwa ukuran mikro kapsul yang baik kurang dari 250 μm [22]. Obeidat juga menyatakan bahwa umumnya ukuran produk mikro kapsul berkisar 1–1000 μm , sedangkan mikropartikel komersial berkisar antara 3–800 μm [14].



Gambar 7 Foto SEM mikro kapsul MPA pada perbesaran 1200× (a), 400× (b), dan 150× (c).

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Mikrokapsul MPA tersalut PCL-lilin lebah yang dihasilkan berbentuk serbuk, kering, dan berwarna putih. Efisiensi mikrokapsul tertinggi, yaitu 83.47% terdapat pada mikrokapsul dengan nisbah PCL:lilin lebah 9:1 dan konsentrasi PVA 3%. Efisiensi mikrokapsul meningkat dengan meningkatnya nisbah PCL:lilin lebah dan konsentrasi PVA. Kinetika pelepasan MPA mengikuti model kinetika Korsmeyer-Peppas dengan mekanisme pelepasan berdasarkan *super case-II transport*. Hasil morfologi mikrokapsul MPA menunjukkan permukaan tidak rata. Selain itu, ukuran mikrokapsul MPA yang dihasilkan berkisar 67–144 μm .

4.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai disolusi secara *in vivo* untuk mengetahui pelepasan MPA dalam tubuh dan melihat kompatibilitas paduan PCL dan lilin lebah menggunakan DSC, dan variasi kecepatan emulsi maupun dispersi yang lebih tinggi agar diperoleh permukaan mikrokapsul yang rata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Diza M. 2008. Perbandingan densitas mineral tulang pada pemakai kontrasepsi kombinasi dengan depo medroksiprogesteron asetat untuk jangka panjang di puskesmas mandala medan [Tesis]. Medan: Bagian Obstetri dan Ginekologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Sumatera Utara.
- [2] Wang W, Liu X, Xie Y, Zhang H, Yu W, Xiong Y, Xie W, Ma X. 2006. Microencapsulation using natural polysaccharides for drug delivery and cell implantation. *J. Mater. Chem* 16:3252–3267.
- [3] Appara B, Shivalingam MR, Reddy YVK, Sunitha N, Jyothibas T, Shyam T. 2010. Design and evaluation of sustained release microcapsules containing diclofenac sodium. *Int J Pharm Biomed Res* 3:90–93.
- [4] Gowda DV, Ravi V, Shivakumar HG, Hatna S. 2009. Preparation, evaluation and bioavailability studies of indomethacin-bees wax microspheres. *J Mater Sci: Mater Med* 20:1447–1456.
- [5] Porjazoska A, Yilmaz OK, Apohan NK, Cvetkovska M, Baysal BM. 2004. Biocompatible polymer blends of poly(D,L-lactic acid-co-glycolic acid) and triblock PCL-PDMS-PCL copolymers: their characterizations and degradations. *Croatica Chemica Acta* 77:545–551.
- [6] Garnier N, Olive' CC, Rolando N, Regert M. 2002. Characterization of archaeological beeswax by electron ionization and electrospray ionization mass spectrometry. *Anal Chem.* 74: 4868-4877.

- [7] Ranjha NM, Khan H, Naseem S. 2010. Encapsulation and characterization of controlled release flurbiprofen loaded microspheres using beeswax as an encapsulating agent. *J Mater Sci: Mater Med* 21:1621–1630.
- [8] Park JH, Ye M, Park K. 2005. Biodegradable polymers for microencapsulation of drugs. *Molecules* 10:146–161.
- [9] Guo X, Zhang L, Qian Y, Zhou J. 2007. Effect of composition on the formation of poly(DL-lactide) microspheres for drug delivery systems: mesoscale simulations. *Chemical Engineering Journal* 131:195–201.
- [10] Kemala T, Budianto E, Soegiyono B. 2012. Preparation and characterization of microspheres based on blend of poly(lactic acid) and poly(ϵ -caprolactone) with poly(vinyl alcohol) as emulsifier. *Arabian Journal of Chemistry* 5:103-108.
- [11] Dinarvand R, Mahmoodi S, Farboud E, Salehi M, Atyabi F. 2005. Preparation of gelatin microspheres containing lactic acid-effect of cross-linking on drug release. *Acta Pharm.* 5:57–67.
- [12] Ibezim EC, Andrade CT, Marcia C, Barretto B, Odimegwu DC, Lima FFD. 2011. Ionically cross-linked chitosan/tripolyphosphate microparticles for the controlled delivery of pyrimethamine. *Ibnosina Journal of Medicine and Biomedical Sciences* ISSN:1947–489X.
- [13] Herdini, Darusman LK, Sugita P. 2010. Disolusi mikroenkapsulasi tersalut gel kitosan-alginat-glutaraldehida. *Makara Sains* 14:57–62.
- [14] Obeidat WM. 2009. Recent patents review in microencapsulation of pharmaceuticals using the emulsion solvent removal methods. *Recent Patents on Drug Delivery & Formulation* 3:178-192.
- [15] Yeo Y, Park K. 2004. Control of encapsulation efficiency and initial burst in polymeric microparticle system. *Archives of Pharmacal Research* 27(1):1-12.
- [16] Kim BK, Hwang SJ, Park JB, Park HJ. 2005. Characteristics of felodipine-located poly(ϵ -caprolactone) microspheres. *Journal of Microencapsulation* 22:193–203.
- [17] Buttini F, Soltani A, Colombo A, Marriott C, Jones SA. 2008. Multilayer PVA adsorption onto hydrophobic drug substrates to engineer drug-rich microparticles. *European journal of Pharmaceutical sciences.* 33: 20–28.
- [18] Maulidyawati N. 2009. Mikroenkapsulasi ibuprofen dengan penyalut polipaduan poli(asam laktat) dan polikaprolakton [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
- [19] Singhvi G, Singh M. 2011. Review: in-vitro drug release characterization models. *International Journal of Pharmaceutical Studies and Research* 2:77–84.
- [20] Setyani YA. 2009. Perilaku disolusi ketoprofen tersalut rangkap dalam gel kitosan-gom guar dengan alginat [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

- [21] Huang X, Brazel CS. 2001. On the importance and mechanisms of burst release in matrix-controlled drug delivery systems. *Journal of Controlled Release* 73:121–136.
- [22] Jain RA. 2000. The manufacturing techniques of various drug loaded biodegradable poly(lactide-co-glycolide) (PLGA) devices. *Biomaterials* 21:2475–2490.

KAJIAN KINETIKA REAKSI PERUBAHAN WARNA CAMPURAN PIGMEN ROSELLA, MANGGIS DAN SECANG

Miksusanti¹, Zainal Fanani¹, Ahmad Rizal¹
¹Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya, Indralaya
E-mail : miksusalbi2000@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinetika perubahan campuran zat pewarna alami yang berasal dari Rosella (*Hibiscus sabdariffa* L.), kulit buah manggis (*Garcinia Mangostana* L.) dan kayu secang (*Caesalpenia Sappan* L.). Kombinasi pigment ini dipapar terhadap, lama penyimpanan, oksidator, suhu dan lama pemanasan. Kinetika perubahan campuran pigment ini ditentukan berdasarkan orde reaksi, konstanta laju reaksi dan energi aktivasi dari reaksi perubahan campuran pigmen. Uji stabilitas zat warna menunjukkan bahwa ketidakstabilan campuran pigmen dipengaruhi oleh lama penyimpanan, oksidator, suhu dan lama pemanasan. Hasil analisis kinetika reaksi perubahan pigmen yang dipengaruhi oleh lama penyimpanan, dan oksidator menunjukkan orde reaksi 1,8 dan konstanta laju reaksi untuk masing-masing variabel tersebut adalah $0,0075 \text{ gram}^{-0,8} \text{ mL}^{0,8} \text{ hari}^{-1}$ dan $0,4175 \text{ gram}^{-0,8} \text{ mL}^{0,8} \text{ hari}^{-1}$. Energi aktivasi perubahan campuran pigmen Rosella, kulit buah Manggis, dan Secang adalah $23,66 \text{ kJ mol}^{-1}$. Penambahan oksidator dapat mempercepat terjadinya perubahan campuran pigment dibandingkan dengan tanpa penambahan oksidator.

Kata kunci : zat warna , rosella, manggis, secang, stabilitas dan kinetika reaksi

1 PENDAHULUAN

Penggunaan zat warna sangat diperlukan untuk menghasilkan suatu produk yang bervariasi dan juga menambah nilai artistik produk tersebut. Bahan pewarna makanan terbagi dua kelompok besar yakni pewarna alami dan pewarna buatan. Pewarna alami diperoleh dari tanaman ataupun hewan yang mengandung pigmen.

Kayu Secang merupakan sumber zat warna merah, yang dapat dipakai sebagai bahan pewarna katun, sutera dan minuman. Bagian terdalam kayu secang (*heartwood*) mengandung warna merah yang disebut *Sappanin*. Kayu Secang juga mengandung *Brazilin*, yaitu senyawa penting penghasil warna merah bata berasal dari kayu brazil (*Brazilwood*). Ekstrak zat warna yang diperoleh adalah 20% dari berat bagian dalam kayu kering. Kayu Secang biasanya digunakan obat tradisional, sebagai jamu dan minuman untuk pengobatan [1].

Kulit Manggis (*Garcinia mangostana* L.) biasa dipakai sebagai pewarna alami makanan karena menghasilkan warna ungu yang dihasilkan oleh pigmen golongan anthosianin seperti: cyanidin-3-sophoraside, dan cyinidin-3-glucoside. Senyawa tersebut

berperan penting pada pewarnaan kulit manggis. Anthosianin adalah pigmen yang biasa larut dalam air. Secara kimiawi anthosianin bisa dikelompokkan ke dalam flavonoid dan fenolat. Zat tersebut berperan dalam pemberian warna terhadap bunga atau bagian tanaman lain dari mulai merah, biru sampai ke ungu termasuk juga kuning dan tidak berwarna (seluruh warna kecuali hijau).

Saat ini rosella (*Hibiscus sabdariffa* L.) menjadi begitu populer. Hampir di setiap pameran tanaman obat, nama rosella selalu diperkenalkan. Hal ini disebabkan hampir seluruh bagian tanaman dapat digunakan untuk kebutuhan pengobatan, terutama untuk pengobatan alternatif. Selain itu, rosella memiliki kandungan senyawa kimia yang dapat memberikan banyak manfaat.

Belum ada penelitian yang melaporkan tentang kestabilan campuran berbagai pigmen warna alami tersebut dan kinetika reaksinya. Oleh karena itu perlu dilakukan uji kestabilan pigmen dari campuran ketiga zat warna alami tersebut serta menganalisis kinetika reaksi perubahan pigmen campuran tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah menentukan kestabilan ekstrak campuran pigmen zat warna alami terhadap pengaruh lama penyimpanan, oksidator, suhu dan lama pemanasan. Berdasarkan data-data tersebut maka dapat dilakukan analisis kinetika reaksi yang meliputi orde reaksi, konstanta laju reaksi dan energi aktivasi dari perubahan warna kombinasi pigmen zat warna alami akibat pengaruh lama penyimpanan, oksidator, suhu dan lama pemanasan tersebut.

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan berupa neraca analitik, spektrofotometer mini UV, oven pemanas, batang pengaduk, botol vial gelap, *plastic wrap (cling wrap)*, pH-meter, aluminium foil, labu pengenceran, mikropipet dan peralatan gelas kimia.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit buah Manggis (*G.mangostana* L.), kayu Secang (*Caesalpinia sappan* L.) dan Rosella. Bahan-bahan lain yang digunakan adalah aquadest, H₂O₂ 0,5%, maltodekstrin, HCl dan NaOH

2.2 Persiapan sampel.

Ekstraksi Kelopak Rosella.

Kelopak bunga Rosella (*Hibiscus sabdariffa L.*), Kulit segar buah Manggis (*Garcinia mangostana L*) dan Bubuk kering kayu Secang (*Caesalpinia sappan L.*) masing –masing sebanyak 2,5 kg dimaserasi dengan menggunakan pelarut aquadest sebanyak 4 L dan dimaserasi selama 24 jam, filtratnya dikeringkan dengan menggunakan *frees drier* dengan penambahan maltodekstrin sehingga diperoleh ekstrak kering

2.3 Analisa Sampel

Untuk menentukan Stabilitas campuran pigmen rosella, kulit manggis dan kayu secang terhadap pengaruh lama penyimpanan, penambahan oksidator, suhu dan lama pemanasan dilakukan melalui pengukuran perubahan absorbansi dengan alat spektrofotometer.

2.4. Stabilitas Campuran Zat Warna Terhadap Lama Penyimpanan

Hasil campuran ekstrak yang terpilih dibuat variasi konsentrasi 8% (w/v), dan 14% (w/v) yang didapat dari hasil uji organoleptik penelitian, kemudian dimasukkan ke dalam botol gelap dan disimpan selama 0, 0,5, 2,5, 4,5, 6,5, 8,5 dan 13,5 hari. Hasil campuran komposisi optimum ini diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada (λ_{\max} dari pH sampel) dan diukur panjang gelombang maksimum masing-masing perlakuan. Naik atau turunnya absorbansi menunjukkan terjadinya perubahan laju dan intensitas zat warna.

2.5 Stabilitas Campuran zat warna Terhadap Oksidator.

Kombinasi campuran ekstrak yang terpilih ditambah 0,5 ml H₂O₂ 0,5 % dimasukkan ke dalam botol gelap. Hasil campuran komposisi optimum ini diukur absorbansinya dengan spektrofotometer (λ_{\max} dari pH sampel) dan diukur panjang gelombang maksimum masing-masing perlakuan pada setiap waktu kontak 0, ½, 1, 3 dan 4 hari. Naik atau turunnya absorbansi menunjukkan terjadinya perubahan warna dan intensitas zat warna

2.6 Stabilitas Campuran Zat Warna Terhadap Suhu dan Lama Pemanasan.

Hasil campuran ekstrak yang terpilih dimasukkan ke dalam botol gelap dan disimpan pada suhu 10, 30, 70, 90, 100, 121°C dengan waktu kontak 30, 60, 90, 120,

menit dan . Hasil campuran komposisi optimum ini diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada (λ_{\max} dari pH sampel) dan diukur panjang gelombang maksimum masing-masing perlakuan. Naik atau turunnya absorbansi menunjukkan terjadinya perubahan warna dan intensitas zat warna.

2.7 Analisa Data

Pada penelitian ini diamati perubahan absorbansi pada masing-masing uji stabilitas, retensi perubahan warna atau pigmen (%) yang dihitung dengan menggunakan persamaan : $\frac{\Delta A}{A} \times 100 \%$ dimana ΔA adalah nilai absorbansi awal dikurang nilai absorbansi setelah perlakuan dan A adalah nilai absorbansi sebelum perlakuan. Untuk Kinetika reaksi, metode yang digunakan untuk menentukan orde reaksi adalah dengan menggunakan metode diferensial.

reaksi mula-mula:



Laju reaksi (r) pada dua konsentrasi berbeda c_1 dan c_2 dapat diberikan sebagai:

$$r_1 = \frac{dc_1}{dt} = k c_1^n \quad (\text{I})$$

$$r_2 = \frac{dc_2}{dt} = k c_2^n \quad (\text{II})$$

Membagi persamaan (I) dengan (II), didapat :

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\left(\frac{-dc_1}{dt}\right)}{\left(\frac{-dc_2}{dt}\right)} = \left(\frac{c_1}{c_2}\right)^n$$

atau
$$n = \frac{-\log(r_1) - \log(r_2)}{\log c_1 - \log c_2}$$

Reaksi dilakukan dengan konsentrasi awal yang berbeda dari reaktan. Plot konsentrasi terhadap waktu untuk kedua percobaan diperoleh kemiringan $(-dc/dt)$ pada interval waktu tertentu diukur dalam kedua kasus dan menggunakan nilai-nilai ini, n ditentukan dengan bantuan persamaan di atas. Persamaan diferensial tingkat juga dapat digunakan sebagai alternatif

$$-\frac{dc}{dt} = k c^n$$

atau
$$-\log (dc/dt) = \log k + n \log C$$

Dengan demikian, plot log (laju) terhadap log [konsentrasi] akan menjadi garis lurus dengan log k intersep dan n sebagai slope. Ini adalah salah satu prosedur yang

memberikan urutan secara langsung. Namun, jika log (laju) terhadap log [konsentrasi] plot adalah tidak linear, reaksi ini bersifat kompleks [2]. Data diambil dari hasil pengukuran stabilitas pigmen campuran terhadap lama penyimpanan dengan konsentrasi 8% dan 14%.

Energi aktivasi ditentukan dengan cara menganalisa data perubahan harga konstanta laju reaksi akibat pengaruh temperatur dan menerapkannya pada persamaan Arrhenius termodifikasi yaitu:

$$\ln k = \frac{-E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} - \ln A.$$

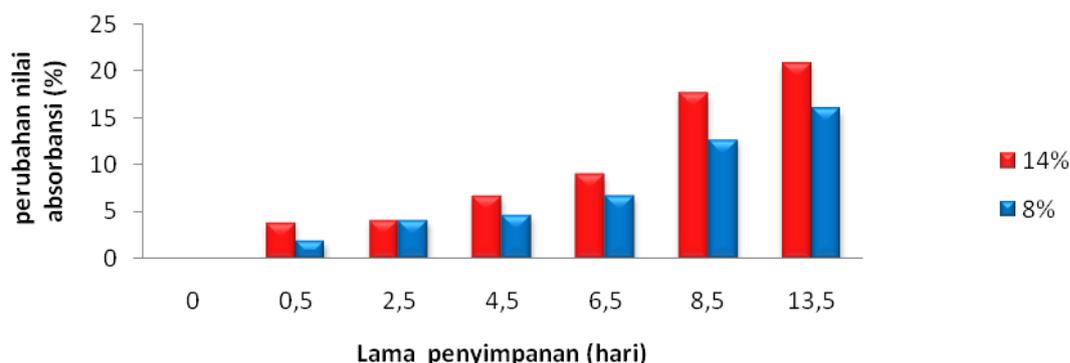
Sehingga diperoleh grafik ln k terhadap 1/T dengan slope = -E_a/R dan intersep = ln A.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Stabilitas Campuran Zat Warna Terhadap Lama Penyimpanan.

Pada uji stabilitas terhadap lama penyimpanan dengan konsentrasi campuran zat warna rosella, kulit manggis dan kayu secang 14% (w/v) dan 8% (w/v) dengan variasi waktu selama 0, 0.5, 2.5, 4.5, 6.5, 8.5 dan 13.5 hari. Perlakuan dilakukan pada botol gelap dan disimpan dalam ruang yang gelap.

Hasil pengukuran dengan spektrofotometer untuk pengaruh terhadap lama penyimpanan dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 1. Grafik pengaruh stabilitas terhadap lama penyimpanan

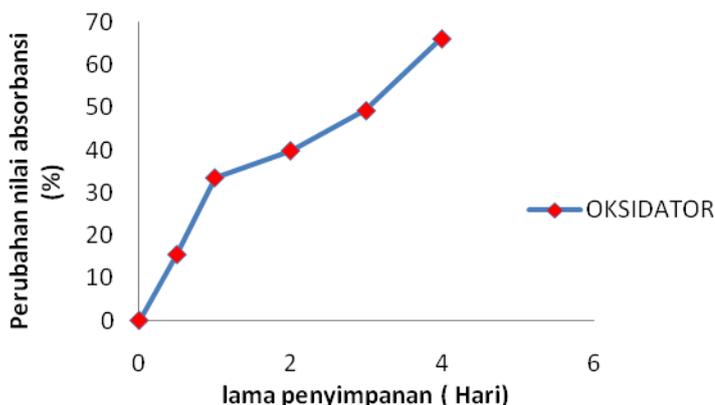
Pada konsentrasi 8 % (w/v), retensi perubahan warna sebesar 16% sedangkan pada konsentrasi 14 % (w/v) retensi perubahan sebesar 20,9%. Dari variasi lama penyimpanan (hari) yang dilakukan, retensi perubahan warna yang terjadi tidak begitu besar baik pada konsentrasi 8% (w/v) maupun 14 % (w/v).Dapat dilihat bahwa kosentrasi

8 % (w/v) lebih stabil dibandingkan dengan konsentrasi 14 % (w/v). Hasil penelitian lain [3] pada pengamatan intensitas warna dari kulit buah rambutan yang disimpan pada kondisi suhu kamar dan gelap selama 7 hari, menghasilkan penurunan intensitas warna sebesar 41%.

3.2 Stabilitas Campuran Zat Warna Terhadap Oksidator.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kestabilan warna adalah oksidator [4]. Keberadaan senyawa oksidator dalam larutan yang mengandung zat warna dapat menstimulasi akumulasi senyawa hasil degradasi zat warna seperti kalkon dan turunannya yang tidak berwarna. Hal tersebut dapat menyebabkan adanya penurunan warna merah mudah menjadi pudar kemudian kuning.

Hasil analisa absorbansi dengan spektrofotometer menunjukkan adanya penurunan absorbansi setelah ditambah oksidator H_2O_2 selama 4 hari. Penurunan ini dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



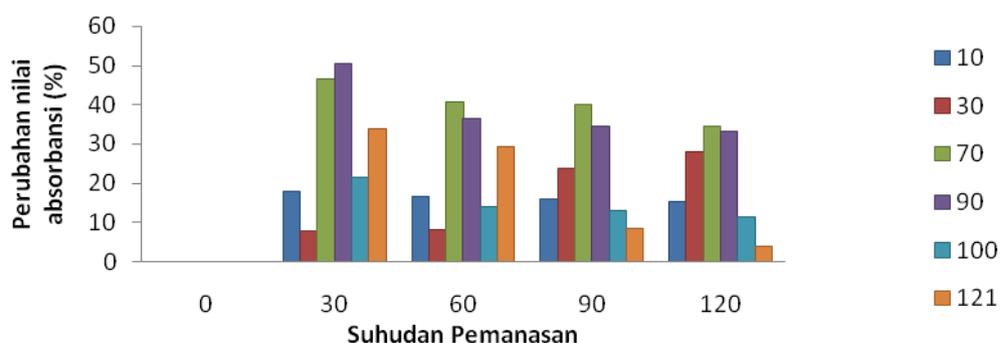
Gambar 2. Grafik perubahan warna terhadap pengaruh oksidator H_2O_2 0,5 %

Kontak dengan oksidator selama 4 hari menyebabkan penurunan nilai retensi warna menjadi 66,22 %. Hasil penelitian lain [5], menunjukkan bahwa adanya oksidator dalam larutan menyebabkan kation flavium yang berwarna merah kehilangan proton dan berubah menjadi karbinol yang tidak memberi warna. Hal ini diperkuat dengan pendapat Sutrisno [6] yang menyatakan bahwa akibat penambahan oksidator menyebabkan penurunan serapan atau berkurangnya kadar zat warna yang disebabkan terjadinya penyerangan pada gugus reaktif dari pewarna oleh oksidator, sehingga gugus kromofor yang bersifat memberi warna berubah menjadi tidak memberi warna.

3.3 Stabilitas Campuran Zat Warna Terhadap Suhu dan Lama Pemanasan.

Salah satu faktor yang mempengaruhi stabilitas warna adalah temperatur. Makin tinggi peningkatan waktu dan suhu pemanasan maka dapat menstimulasi berubahnya molekul-molekul pigment. Pengukuran suhu dan lama pemanasan dilakukan pada suhu lemari es (10°C), suhu kamar (30°C, 70°C, 90°C, 100°C dan 121°C) selama 30, 60, 90 dan 120 menit. Pada gambar berikut dapat dilihat stabilitas pigmen terhadap pengaruh suhu dan lama pemanasan.

Pada waktu 30 menit, setiap suhu mengalami peningkatan retensi perubahan warna, ini berarti terjadi degradasi warna pada waktu 30 menit. Sedangkan pada waktu 60, 90 dan 120 menit, suhu 70, 90, 100 dan 121°C mengalami retensi perubahan warna lebih sedikit dibanding dengan waktu 30 menit. Ini dapat dilihat dari gambar dibawah ini:



Gambar 3. Grafik perubahan warna terhadap Suhu dan Lama Pemanasan pada suhu 10, 30, 70, 90, 100 dan 121°C selama 0, 30, 60, 90 serta 120 menit.

Hal ini mungkin disebabkan oleh perubahan warna yang hampir tidak nyata dari waktu 30 menit sampai 120 menit seperti yang ditampilkan pada gambar 3. Pada suhu 30°C, terjadi perubahan retensi warna yang cukup jelas dengan terjadinya degradasi warna pada waktu 0 sampai 120 menit. Boliviar [4] melaporkan bahwa nilai retensi warna pigmen antosianin *purple corn* yang dipanaskan pada suhu 98°C selama 120 menit menurun sebesar 49%. Hal ini menunjukkan stabilitas yang semakin menurun dengan semakin meningkatnya suhu pemanasan. Sedangkan pada suhu 10°C, perubahan retensi warna yang terjadi semakin menurun. Hal ini mungkin disebabkan oleh faktor kelarutan pada suhu dingin lemari es yang menyebabkan perubahan pada warna dari campuran pigmen yang di uji. Hasil penelitian dari Lydia [3] pada pengamatan intensitas warna dari kulit buah rambutan yang disimpan pada kondisi suhu kamar dan gelap selama 7 hari, menghasilkan penurunan intensitas warna sebesar 41% bila dibandingkan dengan zat warna yang disimpan pada kondisi dingin (15°C).

3.4 Kinetika Reaksi Perubahan Campuran Pigmen Terhadap Lama Penyimpanan.

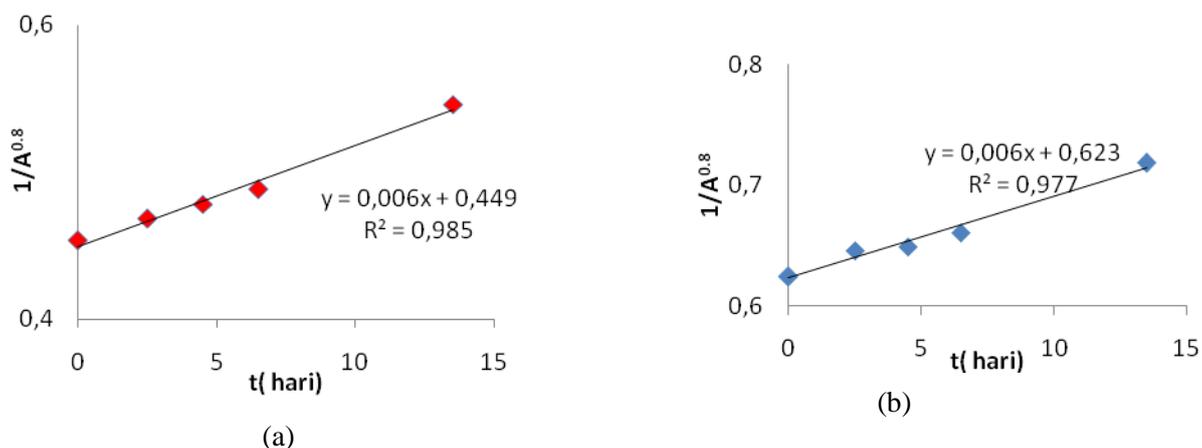
Penentuan kinetika reaksi perubahan campuran pigmen zat warna alam dari Rosella, kulit Manggis dan Kayu secang dilakukan dengan menggunakan metode diferensial. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Metode diferensial

t (hari)	14 % (w/v)	8 % (w/v)	14 % (w/v)	8% (w/v)
	A	A	1/A ^{0,8}	1/A ^{0,8}
0	1,800	2,688	0,45	0,62
0.5	1,766	2,592	0,46*	0,63*
2.5	1,726	2,582	0,46	0,64
4.5	1,716	2,514	0,47	0,649
6.5	1,678	2,451	0,48	0,66
8.5	1,572	2,217	0,52*	0,69*
13.5	1,512	2,130	0,54	0,71

Keterangan: tanda bintang(*) tidak di masukkan dalam perhitungan regresi linear.

Bedasarkan data diatas, maka didapatlah orde reaksi yaitu pada orde 1,8. Selanjutnya untuk menentukan nilai konstanta laju reaksi diperoleh hubungan grafik antara $1/A^{0.8}$ terhadap t yang dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini:



Gambar 4. Grafik kinetika reaksi perubahan pigmen terhadap lama penyimpanan (a) pada konsentrasi 14 % (w/v) dan (b) pada konsentrasi 8% (w/v).

Pada gambar 4, dapat ditentukan konstanta laju reaksi dengan harga slope = 0,8 k. Konstanta laju untuk reaksi perubahan campuran pigmen terhadap lama penyimpanan adalah sebesar $0,0075 \text{ gram}^{-0.8} \text{ hari}^{0.8} \text{ hari}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama penyimpanan, maka zat warna semakin terdegradasi baik itu konsentrasi 8 % (w/v) atau 14 % (w/v).

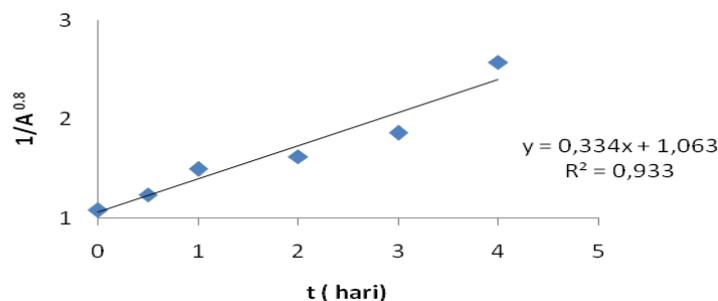
3.5 Kinetika Reaksi Perubahan Campuran Pigmen Terhadap Pengaruh Penambahan Oksidator.

Young [8] menjelaskan bahwa H_2O_2 bersifat sebagai oksidator dan akan merusak ikatan rangkap pigmen sehingga menjadi komponen tidak berwarna. Penambahan oksidator menyebabkan terjadinya perubahan pada gugus reaktif dari zat warna oleh oksidator, sehingga gugus reaktif yang bersifat memberi warna berubah menjadi tidak memberi warna [9]. Dari Hasil pengukuran diperoleh data pada tabel berikut:

Tabel 2. Kinetika reaksi perubahan pigmen terhadap pengaruh oksidator

(hari)	Oksidator H_2O_2 0,5 %	
	A	$1/A^{0,8}$
0	0,896	1,08
0.5	0,864	1,24
1	0,861	1,50
2	0,838	1,63
3	0,817	1,86
4	0,739	2,58

Kemudian dicari nilai konstanta laju reaksi dengan grafik hubungan antara $1/A^{0,8}$ terhadap t yang dapat dilihat dari gambar dibawah ini:



Gambar 5. Grafik kinetika reaksi stabilitas pigmen terhadap pengaruh penambahan Oksidator (H_2O_2 0,5 %).

Pada gambar 5, didapat nilai konstanta laju reaksi sebesar $0,4175 \text{ gram}^{-0,8} \text{ mL}^{0,8} \text{ hari}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa konstanta laju reaksi perubahan campuran pigmen dengan penambahan oksidator lebih besar dibandingkan dengan konstanta laju reaksi tanpa penambahan oksidator yaitu sebesar $0,0075 \text{ gram}^{-0,8} \text{ mL}^{0,8} \text{ hari}^{-1}$.

3.6 Penentuan Energi aktivasi Reaksi Perubahan Campuran Pigmen Rosella, Kulit Buah Manggis dan Kayu Secang

Penentuan energi aktivasi dari perubahan pigmen terhadap pengaruh suhu dan lama pemanasan ditentukan dari nilai konstanta laju reaksi yang didapat pada perlakuan terhadap suhu dan lama pemanasan dengan variasi suhu yaitu 30, 100, 121°C dengan waktu selama 30 menit. Data didapat dari hasil pengukuran dengan spektrofotometer pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Kinetika reaksi perubahan pigmen terhadap pengaruh suhu dan lama pemanasan

t (menit)	1/A ^{0.8}					
	10	30	70	90	100	121
Suhu(°C)						
0*	1,43	1,43	2,34	2,34	2,34	2,34
30*	1,67	1,52	3,87	4,12	2,85	3,27
60	1,65	1,53	3,56	3,38	2,64	3,1
90	1,64	1,78	3,53	3,29	3,25	2,2
120	1,63	1,86	3,29	3,24	2,58	2,2

Ket: tanda bintang(*) dimasukkan dalam perhitungan konstanta laju reaksi

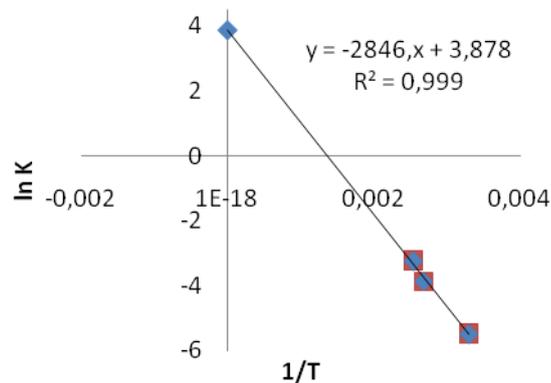
Didapat nilai k pada masing-masing suhu seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. Konstanta laju reaksi

k	nilai k	ln k	T	
			(K)	1/T
k1*	0.010149	-4.59	283	0,003534
k2	0.004106	-5.49	303	0,0033
k3*	0.063566	-2.75	343	0,002915
k4*	0.074115	-2.60	363	0,002755
k5	0.020922	-3.86	373	0,002681
k6	0.038603	-3.25	394	0,002538

Ket: tanda bintang(*) tidak dimasukkan dalam perhitungan regresi linier.

Berdasarkan data pada tabel diatas, diperoleh grafik hubungan antara ln k dan 1/T yang dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini:



Gambar 6. Grafik hubungan antara konstanta laju reaksi(ln K) terhadap Suhu (1/T)

Dari hasil konstanta laju reaksi masing-masing suhu tersebut, dapat disimpulkan bahwa makin tinggi suhu maka konstanta laju reaksi akan semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan persamaan Arrhenius yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan maka laju reaksi akan semakin besar [10]. Lau [11] melaporkan bahwa Energi aktivasi perubahan warna asparagus diperoleh dari persamaan Arrhenius yaitu sebesar 12,9 kkal mol⁻¹.

Dengan persamaan Arrhenius maka dapat ditentukan nilai energi aktivasinya. Hasil perhitungan energi aktivasi untuk perubahan pigmen terhadap pengaruh suhu dan lama pemanasan adalah sebesar 23,66 kJ mol⁻¹.

4 KESIMPULAN DAN SARAN.

4.1 KESIMPULAN.

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Lama Penyimpanan, Oksidator, suhu dan lama pemanasan, dapat menurunkan stabilitas pimen zat pewarna alami campuran Rosella, kulit buah Manggis dan kayu Secang, dengan melihat perubahan warna yang terjadi dari masing-masing perlakuan.
2. Orde reaksi dari perubahan pigmen zat pewarna alami campuran Rosella, kulit buah Manggis dan kayu Secang adalah reaksi orde 1,8.
3. Konstanta laju reaksi untuk perubahan campuran pigmen zat pewarna alami Rosella, kulit buah Manggis dan kayu Secang pada pengaruh terhadap lama penyimpanan sebesar 0,0075 gram^{-0,8} mL^{0,8} hari⁻¹, pada pengaruh terhadap penambahan oksidator H₂O₂ 0,5% sebesar 0,4175 gram^{-0,8} mL^{0,8} hari⁻¹.

4. Energi aktivasi reaksi perubahan pigmen zat pewarna alami campuran rosella, kulit buah manggis dan kayu secang sebesar $23,66 \text{ kJ mo}^{-1}$.
5. Pengaruh penambahan oksidator lebih cepat mendegradasi dibanding dengan lama penyimpanan.

4.2 SARAN

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut kinetika reaksi perubahan campuran pigmen zat warna dalam produk minuman dan makanan siap saji.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada DP2M DIKTI, yang telah mendanai penelitian ini melalui skim penelitian fundamental tahun 2012.

DAFTAR PUSTAKA.

- [1] Lemmens, R.H., (1992), “*Dye and Tannin Producing Plants*”, Plants Resources of East Asia, Pudoc DLO, Wageningen Nederland.
- [2] Upadhyay K Santosh. 2006. Chemical Kinetics and Reaction Dynamics. Department of Chemistry Harcourt. *Butler Technological Institute Kanpur-208 002, India.*
- [3] Lydia, S, Wijaya, Simon. B, Widjanarko., Tri Susanto. (2001). Ekstraksi dan Karakterisasi Pigmen dari Kulit Buah Rambutan (*Nephelium Lappaceum*). Var. *Binjai Biosain*, Vol. 1 No. 2, hal. 42-53.
- [4] Maarit, R.2005, Copigmentation Reaction and Color Stability of Berry Anthocyanins, Academic Dessertation, Departement of Applied Chemistry and Microbiology Food Chemistry Division, University of Helsinki, Finlandia.
- [5] Hanum, T. 2000. Ekstraksi dan Stabilitas Zat Pewarna Alam dari Katul Beras Ketan Hitam (*Oryza sativa glutinosa*). *Buletin Teknologi dan Industri Pangan XI* (1): 17 – 23
- [6] Sutrisno, A. D. 1987. *Pembuatan dan peningkatan kualitas zat warna merah alami yang dihasilkan oleh monascus sp.* Di dalam: Risalah Seminar Bahan Tambahan Kimia (Food Additives). Jakarta, Indonesia.
- [7] Bolivar A.Casals Cevalos, Zevallos Luis Cisneros. 2004. *Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato*

- compared to synthetic and natural colorants*. Department of Horticultural Sciences, Texas A&M University. Vol 86. Hal 69–77.
- [8] Young KW, Neumann SL, Mc Gill AS, and Hardy R. 1980. *The Use of Dilute Solution of H₂O₂ of White Fish Flesh*. Di dalam *Fish Science and Technology*. Editor JJ Connell (ed). Advances Fishing New Books Ltd, Farnham Surrey, England.
- [9] Jenie, B.S.L., Ridawati., W.P. Rahayu. 1997. Produksi Angkak oleh *Monascus purpureus* dalam Medium Limbah Cair Tapioka, Ampas Tapioka, dan Ampas Tahu. *Buletin Teknologi dan Industri Pangan* Vol. V No 3 hal. 60-64.
- [10] Lau MH, J. Tang , B.G. Swanson b, (2000). *Kinetics of textural and color changes in green asparagus during thermal treatments*. Department of Biological Systems Engineering, Washington State University. Vol 45. Hal 231-236

ISOLASI SENYAWA STEROID DARI DAUN TANAMAN DAUN DEWA (*GYNURA PSEUDOCHINA* (LOUR) DC) DAN AKTIVITASNYA SEBAGAI ANTIBAKTERI

Herlina¹, Ferlina Hayati² dan Christina B.S²
¹Program Studi Farmasi FMIPA UNSRI, Palembang.
Email : rinaafdil@gmail.com
²Jurusan Kimia FMIPA UNSRI, Palembang

ABSTRAK

Isolasi senyawa steroid telah dilakukan dari daun tanaman daun dewa (*Gynura pseudochina* (Lour) DC). Proses ekstraksi dilakukan dengan metoda maserasi, pemisahan dan pemurnian dilakukan dengan teknik kromatografi cair vakum dan kromatografi radial. Senyawa hasil isolasi diidentifikasi dengan menganalisis spektrum UV, IR, dan ¹H-NMR. Uji aktivitas antibakteri ditentukan dengan metoda difusi cakram menggunakan bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis*. Senyawa hasil isolasi diduga adalah β -sitostenon. Aktivitas antibakteri menunjukkan bahwa senyawa hasil isolasi aktif lemah terhadap *B. subtilis* sedangkan pada *E. coli* tidak aktif sebagai antibakteri jika dibandingkan dengan kontrol positif.

Kata Kunci : Daun dewa (*Gynura pseudochina* (Lour) DC), steroid, *E. coli* dan *B. subtilis*

1 PENDAHULUAN

Tanaman daun dewa (*Gynura pseudochina* (Lour) DC) merupakan genus *Gynura* dan termasuk dalam famili Asteraceae. *Gynura* ini telah diketahui mengandung komponen aktif alkaloid, flavonoid, terpenoid, tanin, saponin, steroid dan asam klorogenat (1). Daun dewa merupakan tanaman yang mudah diperoleh, dapat tumbuh di segala musim, dan mempunyai banyak khasiat. Tanaman ini memiliki bioktivitas sebagai antikoagulan, antikarsinogen, antimutagenitas, antibakteri, antipembengkakan, antikanker, obat demam, penurunan kadar gula darah dan luka bakar (2).

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, informasi mengenai kandungan kimia dan bioaktivitas dari daun tanaman daun dewa masih belum terlalu banyak dilaporkan. Kandungan kimia yang telah dilaporkan adalah senyawa kuersetin 3-rutinosida, asam 4,5-dikafeolkuinat dan asam 3,5-dikafeolkuinat (3). Bioaktivitas dari daun dewa masih terbatas pada ekstraknya saja yaitu antikanker dan antioksidan (4,5). Uji pendahuluan yang telah dilakukan diketahui daun dewa mengandung senyawa steroid.

Berdasarkan pertimbangan tersebut dan melihat potensi kimia yang ada, maka dilakukan isolasi senyawa steroid yang terdapat pada bagian daun tanaman daun dewa (*G. pseudochina* (Lour) DC) dan uji antibakteri senyawa steroid hasil isolasi. Identifikasi

senyawa steroid hasil isolasi dilakukan dengan pengukuran spektrofotometer ultraviolet, inframerah, dan NMR 1-D. Uji antibakteri dilakukan dengan metoda difusi cakram dengan menggunakan bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis*.

2. METODE PENELITIAN

a. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan berupa seperangkat alat destilasi, *rotari evaporator* R-114 Buchi dengan sistem *vakum Buchi* B-169, corong pisah, chamber, pipet kapiler, neraca analitis, kromatografi cair vakum, kromatografi radial, lampu UV, peralatan gelas ukur lainnya yang lazim digunakan di laboratorium kimia, spektrofotometer ultraviolet varian, spektrofotometer FTIR Shimadzu 8400 dan spektrofotometer NMR JEOL, JNM ECA 500 (500 MHz), hemositometer, autoklaf, *hot plate*, bunsen, cawan petri, tabung reaksi, jarum ose, inkubator, dan *shaker*.

Bahan-bahan yang dibutuhkan antara lain daun dari daun dewa, metanol, n-heksana, aseton, kloroform, etil asetat, silika gel G 60 (35-70 mesh), silika gel G 60 (230-400 mesh), KLT silika gel G 60 F₂₅₄, silika gel GF, serum sulfat, akuadest, biakan *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis* sebagai bakteri uji, kapas, media *nutrien agar*, *nutrien broth*, spiritus, kertas cakram standar, dan alumunium foil.

b. Prosedur Kerja

- Persiapan Sampel

Sampel daun dari daun dewa kering diperoleh dari Bandung sebanyak 1 kg. Sampel diidentifikasi di 'Herbarium Bogoriense' Bidang Botani Pusat Penelitian Biologi, LIPI, Cibinong.

- Ekstraksi

Sampel daun dari daun dewa kering sebanyak 1 kg digiling sampai halus. Daun dari daun dewa yang sudah halus diekstraksi dengan cara direndam (maserasi) menggunakan metanol dengan 3 kali pengulangan. Filtrat yang di dapat dipekatkan dengan cara menguapkan pelarutnya menggunakan *rotari evaporator* sehingga diperoleh ekstrak pekat metanol.

- Pemisahan dan Pemurnian Senyawa Aktif

Ekstrak pekat metanol dilakukan pemisahan dengan menggunakan kromatografi cair vakum. Kolom kromatografi cair vakum (diameter 7 cm) diisi dengan menggunakan silika gel G 60 (230-400 mesh) dengan perbandingan 1:10 dengan ekstrak, lalu dipadatkan. Permukaan silika yang telah dipadatkan dalam kolom ditutupi dengan kertas saring. Sebelum dioperasikan, pelarut n-heksana dialirkan pada silika untuk memastikan silika di dalam kolom sudah padat dan rata.

Ekstrak pekat dari hasil preabsorpsi selanjutnya dimasukkan dalam kolom, kemudian dielusi dengan menggunakan eluen n-heksana, campuran n-heksana : etil asetat dengan kepolaran bertingkat, campuran etil asetat : metanol dan metanol. Setiap eluat yang keluar ditampung dengan menggunakan vial dan diuapkan sampai kering dengan menggunakan *rotari evaporator*. Setiap eluat dalam vial dilakukan kromatografi lapis tipis dengan eluen yang sesuai. Eluat dalam vial – vial yang menunjukkan pola noda yang sama dikelompokkan menjadi satu fraksi sehingga diperoleh beberapa fraksi. Fraksi yang menunjukkan pola noda dengan pengotor yang lebih sedikit selanjutnya dilakukan pemisahan dan pemurnian lebih lanjut dengan kromatografi radial. Uji kemurnian senyawa hasil isolasi diuji dengan menggunakan pengukuran titik leleh, spektrofotometer ultraviolet, inframerah, dan ¹H-NMR untuk mengidentifikasi struktur senyawa hasil isolasi.

c. Uji Aktivitas Antibakteri

- Persiapan Bakteri Uji

Jarum ose disterilkan diatas nyala bunsen dengan cara dipijarkan dan dibiarkan beberapa saat sampai dingin. Biakan *E. coli* diambil sebanyak 1 ose kemudian digoreskan pada permukaan media agar miring secara aseptik. Pada tabung yang berbeda biakan murni *B. subtilis* juga digoreskan sebanyak 1 ose. Kedua bakteri ini selanjutnya diinkubasi selama 24 jam pada temperatur 37^oC.

- Persiapan Media

Media padat dibuat dengan melarutkan *Nutrien Agar* (NA) sebanyak 28 g dengan 1000 ml akuadest. Media padat kemudian dituangkan ke dalam erlenmeyer, ditutup dengan kapas dan dipanaskan sampai mendidih. Media padat yang sudah dingin disterilkan ke dalam autoklaf selama 15 menit .

Media cair dibuat dengan melarutkan *Nutrien Broth* (NB) sebanyak 13 g dengan 1000 ml akuadest. Media cair kemudian dituangkan kedalam erlenmeyer, biarkan sampai dingin dan sterilkan ke dalam autoklaf selama 15 menit (6).

- Persiapan Suspensi Biakan Bakteri

Satu ose biakan *E.coli* dari media agar diambil secara aseptik, kemudian dimasukkan dalam media NB dan dihomogenkan. Sel *E. coli* yang ada di dalam suspensi diukur dengan hemositometer. Pembuatan suspensi biakan *B. subtilis* dilakukan dengan cara yang sama.

- Uji Aktivitas Antibakteri

Uji aktivitas antibakteri dilakukan dengan metode *paper disk*. Kultur cair dari masing-masing bakteri sebanyak 1 ml dimasukkan kedalam cawan petri dan diratakan. Media NA sebanyak 14 ml dimasukkan ke dalam cawan petri yang telah berisi NB sebelumnya dan diratakan. Sampel dibuat dengan konsentrasi yaitu 10000 ppm, 5000 ppm, 2500 ppm dan 1250 ppm. Sampel yang telah dibuat dalam berbagai konsentrasi diteteskan pada kertas cakram dengan diameter 6 mm dan diletakkan diatas biakan yang sudah diinokulasikan kedalam cawan petri. Setiap cawan petri diletakkan 6 buah *paper disk*, dengan kontrol negatif dan positif . Biakan tersebut diinkubasikan selama 48 jam. Aktivitas antibakteri ditandai dengan terbentuknya zona bening.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Isolasi dan Pemurnian Senyawa dari Daun Tanaman Daun Dewa (*G. pseudochina* (Lour) DC)

Maserasi yang dilakukan terhadap 1 kg serbuk daun dari tanaman daun dewa menghasilkan ekstrak pekat 35,71 g. Pemisahan terhadap 20 g ekstrak pekat dilakukan dengan kromatografi cair vakum. Hasil pemisahan ini dikelompokkan menjadi 10 fraksi utama dan dilakukan kromatografi lapis tipis terlihat pada Gambar 1.



A

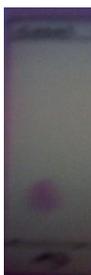


B

Gambar 1. Hasil KLT di bawah lampu UV. Fraksi A - E dengan eluen n-heksana dan etil asetat (8:2) (**A**) dan fraksi F - J dengan eluen kloroform dan metanol (85:15) (**B**).

Fraksi A (2,14 g) dipilih untuk pemisahan selanjutnya. Pemilihan ini dilakukan berdasarkan pola noda kromatografi lapis tipis yang menunjukkan sedikit noda sehingga untuk tahap selanjutnya lebih mudah dipisahkan. Tahap selanjutnya dilakukan pemisahan dengan menggunakan kromatografi radial menggunakan eluen n-heksana dan etil asetat (95:5) sehingga diperoleh 4 fraksi yaitu fraksi A₁ (0,44 g), A₂ (0,23 g), A₃ (0,23 g), dan A₄ (0,03).

Fraksi dari A₃ (0,23 g) memperlihatkan pola noda tunggal tapi masih ada sedikit pengotor, selanjutnya dimurnikan kembali dengan menggunakan kromatografi radial dengan menggunakan eluen n-heksana : etil asetat (95:5). sehingga diperoleh senyawa murni yang berupa padatan dengan berat 0,1 g. Kemurnian senyawa hasil isolasi diuji kembali dengan melakukan KLT menggunakan berbagai eluen gambar 2.



A



B



C

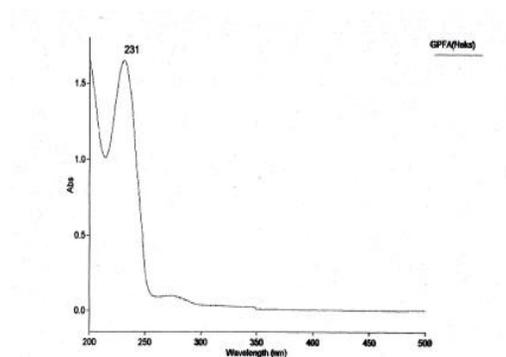
Gambar 2. Hasil KLT A₃ dengan berbagai sistem eluen. (**A**) n-heksana : etil asetat (95:5), (**B**) n-heksana : kloroform (5:5) dan (**C**) n-heksana : aseton (95:5).

Uji kemurnian selanjutnya dilakukan dengan pengukuran titik leleh. Titik leleh senyawa isolasi adalah 97 – 98 °C. Range $\leq 2^\circ\text{C}$ memperkuat dugaan bahwa senyawa hasil isolasi telah murni.

Identifikasi Senyawa Hasil Isolasi

Identifikasi Spektrofotometer UV

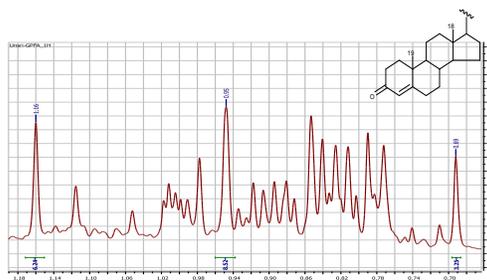
Spektrum UV memberikan serapan pada λ_{maks} 231 nm (Gambar 3). Serapan pada λ_{maks} tersebut disebabkan karena adanya terjadinya transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ yang berasal dari ikatan rangkap yang terkonjugasi dari senyawa alifatik.



Gambar 3. Spektrum ultraviolet senyawa hasil isolasi.

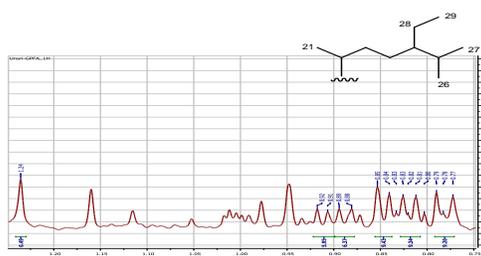
Identifikasi Spektrofotometer IR

Spektrum inframerah (Gambar 4) mendukung adanya gugus karbonil α, β tak jenuh yang terlihat dengan munculnya sinyal pada daerah serapan 1669 cm^{-1} yang berasal dari vibrasi karbonil terkonjugasi. Selain itu muncul juga daerah serapan pada 1617 cm^{-1} yang berasal dari vibrasi ikatan rangkap karbon. Serapan pada daerah 2930 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur asimetri dari C-H alifatik yang diperkuat dengan adanya vibrasi tekuk pada daerah serapan 1462 cm^{-1} sedangkan serapan pada 2869 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur simetri dari C-H alifatik yang didukung dengan munculnya vibrasi tekuk pada daerah serapan 1379 cm^{-1} . Serapan pada bilangan gelombang 3435 cm^{-1} lazimnya berasal dari vibrasi gugus hidroksil, tetapi pada senyawa ini diduga bukan vibrasi dari gugus tersebut karena tidak terdapat serapan kuat dari C-O pada daerah serapan $1000 - 1200\text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan hal tersebut diduga bahwa gugus hidroksil tersebut berasal dari plat KBr yang berair.



Gambar 6. Perbesaran spektrum $^1\text{H-NMR}$ proton metil pada δ_H 1,16 ppm, δ_H 0,95 ppm dan δ_H 0,69 ppm.

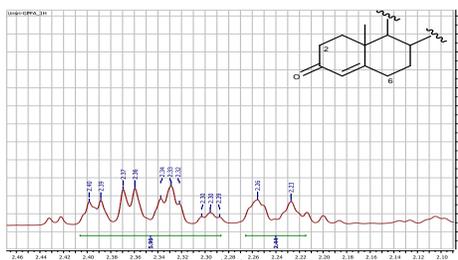
Selain itu pada δ_H 0,88 – 0,92 ppm terdapat 12 proton yang diidentifikasi berasal dari 9 proton dengan multiplisitas doublet untuk 3 x CH_3 yang khas untuk C-21 dan 3 proton lainnya berasal dari proton metin dengan multiplisitas multiplet. Ciri khas yang lain ditunjukkan pada daerah δ_H 0,77 – 0,85 ppm dengan integrasi 27 proton merupakan sinyal untuk 9 buah metil yang khas untuk C-26, C-27 dan C-29 dari senyawa steroid dengan kerangka stigmastan yang didukung juga dengan munculnya δ_H 1,24 (6H, *m*) berasal dari 3 x CH_2 pada C-28 (Gambar 7).



Gambar 7. Perbesaran spektrum $^1\text{H-NMR}$ proton pada δ_H 1,24 ppm, δ_H 0,88 – 0,92 ppm dan δ_H 0,77 – 0,85 ppm.

Adanya sistem karbonil α, β tak jenuh didukung pula oleh spektrum $^1\text{H-NMR}$ yaitu dengan munculnya sinyal pada δ_H 5,7 ppm (2H, *s*) yang berasal dari dua buah sistem $-\text{CO} - \text{CH} = \text{C} -$ dan munculnya sinyal pada δ_H 2,2 – 2,4 ppm (8H, *m*) yang berasal dari proton

metilen yang terikat pada gugus karbonil (Gaspar, 1992). Adanya 8 proton yang berasal dari 4 CH₂ pada δ_H 2,2 – 2,4 ppm tersebut juga mendukung bahwa terdapat 2 sistem karbonil α , β tak jenuh, dimana 2 metilen terikat pada karbon dari gugus karbonil (C-2) sedangkan 2 metilen lainnya terikat pada karbon γ dari sistem karbonil α , β tak jenuh (C-6) (Gambar 8).



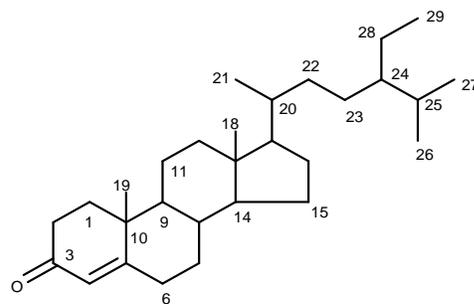
Gambar 8. Perbesaran spektrum ¹H-NMR proton pada δ_H 2,2 – 2,4 ppm.

Data ¹H-NMR senyawa hasil isolasi menunjukkan kesesuaian yang cukup tinggi dengan data ¹H-NMR senyawa β -sitostenon (Marina *et al*,1990) sebagaimana terlihat pada tabel 1. Berdasarkan hal tersebut maka disarankan bahwa salah satu dari ketiga senyawa steroid itu adalah β -sitostenon yang mempunyai struktur sebagai berikut :

Tabel 1. Data NMR senyawa hasil isolasi dan β -sitostenon

Proton	δ_H ppm (multiplisitas; <i>J</i> dalam Hz)	
	Senyawa isolasi	β -sitostenon (*)
H-4	5,70 (<i>s</i>)	5,74 (<i>d</i>)
H-18	0,69 (<i>s</i>)	0,72 (<i>s</i>)
H-19	1,16 (<i>s</i>)	1,19 (<i>s</i>)
H-21	0,88 – 0,92 (<i>d</i>)	0,93 (<i>d</i> , <i>J</i> = 6,6 Hz)
H-26	0,77 – 0,85 (<i>d</i>)	0,84 (<i>d</i> , <i>J</i> = 6,0 Hz)
H-27	0,77 – 0,85 (<i>d</i>)	0,82 (<i>d</i> , <i>J</i> = 6,6 Hz)
H-29	0,77 – 0,85 (<i>d</i>)	0,85 (<i>d</i> , <i>J</i> = 7,2 Hz)

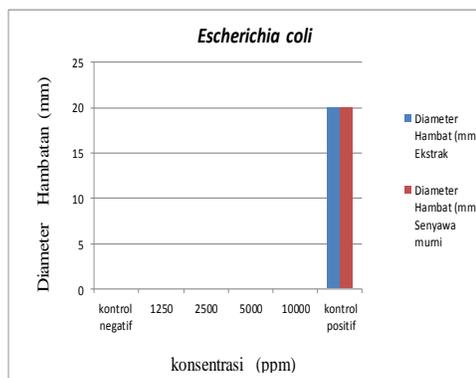
(*) Marina *et al* (1990) (7)



Uji Aktivitas Antibakteri

Uji aktivitas antibakteri dilakukan dengan menggunakan metode cakram kertas dengan berbagai konsentrasi terhadap ekstrak dan senyawa steroid. Berdasarkan hasil uji aktivitas antibakteri, menunjukkan bahwa ekstrak dan senyawa murni mampu menghambat pertumbuhan bakteri dengan terbentuknya zona bening.

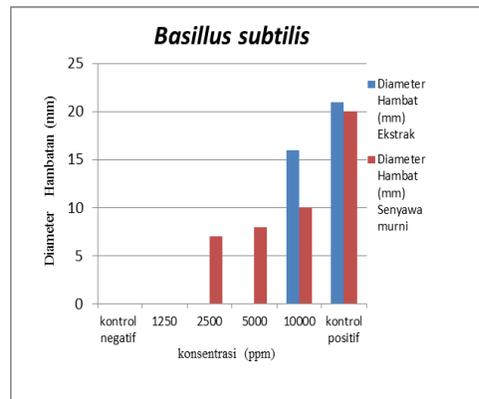
Ekstrak pekat dan senyawa steroid yang diujikan pada *E. coli* tidak menunjukkan adanya aktivitas antibakteri dengan tidak adanya zona hambat yang terbentuk jika dibandingkan dengan kontrol positif sebagai aktif kuat sebagai antibakteri. Hal ini berarti bahwa ekstrak daun dewa tidak memiliki aktivitas antibakteri karena diameternya sama dengan kontrol negatif. Hal ini disebabkan karena tidak adanya kemampuan senyawa kimia yang terdapat didalam sampel untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan bakteri uji (Gambar 9).



Gambar 9. Diagram perbandingan diameter zona bening ekstrak dan senyawa murni pada *E. coli*.

Ekstrak dan senyawa steroid yang diujikan pada bakteri *B. subtilis* menunjukkan adanya aktivitas antibakteri karena adanya zona hambat yang terbentuk disekitar *paper disk*. Zona bening pada ekstrak hanya ditunjukkan pada konsentrasi besar yaitu 10000 ppm (15,6 mm), sedangkan zona bening pada senyawa murni terbentuk pada konsentrasi 2500 ppm (7 mm), 5000 ppm (8,3 mm) dan 10000 ppm (9,6 mm) (Gambar 10). Hal ini sesuai dengan pendapat dari Pelezer dan Chan (1993) bahwa luas zona hambat di sekeliling kepingan *paper disk* berbanding lurus dengan konsentrasi antibakteri yang terkandung di dalamnya. Dengan demikian semakin tinggi konsentrasi antibakteri pada kepingan *paper disk* maka akan

semakin luas zona hambat yang terbentuk. Jika dibandingkan dengan kontrol positif kemampuan ekstrak sebagai antibakteri tergolong kuat sedangkan senyawa hasil isolasi tergolong lemah.



Gambar 10. Diagram perbandingan diameter zona bening ekstrak dan senyawa murni pada *B. subtilis*.

Rata-rata luas zona hambat yang diberikan bakteri *B. subtilis* berbeda dengan *E. coli*. Menurut Pelezer dan Chan (1993) terdapat perbedaan komposisi struktur dinding sel antara Gram positif dan Gram negatif. Struktur dinding sel Gram positif lebih sederhana, hanya tersusun dari satu lapisan saja yaitu lapisan peptidoglikan yang relatif tebal dengan kandungan lipid rendah sehingga memudahkan senyawa antibakteri untuk masuk ke dalam sel. Struktur dinding sel Gram negatif lebih kompleks yaitu lapisan luar lipoprotein, lapisan tengah liposakarida dan lapisan dalam peptidoglikan dengan kandungan lipid yang tinggi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

1. Pada penelitian ini telah berhasil diisolasi campuran senyawa steroid dimana salah satunya adalah β -sitostenon dari daun tanaman daun dewa (*Gynurapseudochina* (Lour) DC).

2. Senyawa steroid yang diperoleh mempunyai aktivitas antibakteri yang lemah terhadap *Bacillus subtilis* sedangkan untuk ekstrak menunjukkan aktivitas antibakteri dengan kategori aktif kuat pada konsentrasi yang tinggi.
3. Senyawa steroid dan ekstrak dari daun dewa tidak aktif antibakteri terhadap *Escherichia coli* karena tidak terbentuknya daya hambat pada tiap konsentrasi.

SARAN

Perlu dilakukan pengukuran lebih lanjut menggunakan alat GC-MS terhadap senyawa hasil isolasi. Selain itu disarankan juga untuk mencari metabolit sekunder lainnya dari daun tanaman daun dewa (*Gynurapseudochina* (Lour) DC) dan melakukan uji biologis lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wijayakusuma. (1997). *Tanaman Berkhasiat Obat di Indonesia*. Jakarta: Pusat Kartini.
- [2] Dondin S. (2001). Ekstraksi, fraksinasi, Karakterisasi dan Uji Hayati In Vitro Senyawa Bioaktif Daun Dewa (*Gynura pseudochina* (L) DC) sebagai Antikanker Tahap I. *Buletin Kimia*, Vol 1, hal (75-79).
- [3] Siritwatanametanon, N. & Heinrich, M. (2011). The Thai Medicinal Plant *Gynura pseudochina* var. *hispida*: Chemical Composition And In Vitro NF-kappaB Inhibitory Activity. *Natural Product of Communication*, Vol 6(5), Page (627-630).
- [4] Alisyahbana, H.M., Limyati, D.A., & Ervina, M. (2003). Perbedaan Daya Antioksidan dari Daun Dewa (*Gynura pseudochina* (L) DC) dan Sambung Nyawa (*Gynura procumbens* (L) Merr). *Jurnal Obat Bahan Alam* 2 (1) 19-23.
- [5] Winarto, W.P. (2003). *Daun Dewa Sebagai Budidaya dan Pemanfaatan untuk Obat*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- [6] Lay. B.W., (1994). *Analisis Mikroba di Laboratorium* . Edisi I. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada. Hal 163.
- [7] Marina, Pietro M and Lucio P. (1990). Stigmasterols from *Typha latifolia*. *Journal of nature products*. Vol 53 (6). Page (1430-1435).

SUPERABSORBEN HASIL PENCANGKOKAN DAN PENAUTAN SILANG FRAKSI ONGGOK DENGAN AKRILAMIDA

Mohammad Khotib^{1,2,*}, Zainal Alim Mas'ud^{1,2}, Anwar Nur^{1,2}, Widiyanto¹

¹Laboratorium Terpadu IPB, Kampus IPB baranangsiang, Jl.Pajajaran Bogor

²Departemen Kimia IPB, Kampus IPB Dramaga, Bogor

*Email : mohammadkh@ipb.ac.id

ABSTRAK

Karbohidrat onggok terdiri atas pati dan selulosa. Kedua fraksi tersebut berpotensi untuk dimodifikasi menjadi superabsorben melalui pencangkokan dan penautan silang menggunakan amonium persulfat sebagai inisiator, akrilamida sebagai monomer, dan *N,N*-metilena-bis-akrilamida sebagai penaut-silang. Aktivasi dilakukan menggunakan 60% H₂SO₄ pada suhu 60 °C selama 1 jam sedangkan saponifikasi menggunakan 1M NaOH at 90 °C selama 2 jam. Onggok:air terbaik didapat pada nisbah 1:30 dan suhu optimum pada 70 °C untuk mendapat daya serap air tertinggi. Daya serap air dari superabsorben fraksi nonpati, nonpati-teraktivasi, nonpati-saponifikasi, dan nonpati-aktivasi-saponifikasi berturut-turut ialah 25.21, 53.37, 273.3, dan 262,07 g/g. Aktivasi tidak meningkatkan daya serap air secara signifikan dibandingkan saponifikasi. Butiran pati yang tidak tampak lagi pada hasil SEM fraksi nonpati menandakan proses hidrolisis telah berhasil dengan baik. Pencirian Spektrofotometer inframerah transformasi Fourier pada bilangan gelombang 1600 cm⁻¹ menunjukkan terbentuknya gugus amida yang menandakan sintesis berhasil dilakukan dan pada 3300 cm⁻¹ menunjukkan semakin rampingnya puncak serapan mengindikasikan bahwa proses aktivasi telah berhasil.

Katakunci: Onggok, superabsorbent, pencangkokan, penautan silang, akrilamida

1 PENDAHULUAN

Ketela pohon memiliki kandungan pati yang tinggi sebagai sumber karbohidrat. Ketela pohon dapat diproses menjadi produk tapioka olahan. Pembuatan tepung tapioka di industri kecil meliputi tahapan pengupasan kulit, pencucian, pamarutan, pengekstrakan (pemerasan dan pengeringan), pengendapan pati, dan pengeringan. Limbah padat seperti kulit ketela pohon dimanfaatkan untuk pakan ternak dan pupuk, sedangkan onggok (ampas) yang merupakan hasil samping tahap pemerasan digunakan sebagai bahan baku pada industri pembuatan saus, campuran kerupuk, obat nyamuk bakar, dan pakan ternak. Onggok merupakan limbah pertanian yang sering menimbulkan masalah lingkungan yang berpotensi

sebagai polutan di daerah sekitar pabrik karena ongkok relatif cepat membusuk sehingga menyebabkan bau tidak sedap [1].

Ongkok mengandung karbohidrat sangat tinggi yang terdiri atas fraksi pati dan fraksi selulosa. Kedua fraksi ini sangat potensial untuk dimodifikasi, di antaranya menjadi superabsorben, karena banyak mengandung gugus hidroksil. Meskipun memiliki struktur dasar yang sama, keduanya memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Rantai-rantai selulosa tersusun sejajar membentuk mikrofibril yang diikat-satukan oleh ikatan hidrogen. Mikrofibril diikat-satukan lagi menjadi bundel yang lebih besar, disebut makrofibril. Mikrofibril selulosa sangat keras dan tidak lentur, memiliki sifat kristal relatif lebih besar daripada bagian yang berbentuk amorf. Sementara molekul pati terikat sedemikian rupa sehingga berstruktur heliks yang lebih lentur dan lebih mudah terbungkakan, ditambah lagi adanya struktur bercabang pada komponen amilopektin. Secara termodinamika, percabangan menyebabkan kandungan energi molekul lebih tinggi sehingga menjadi lebih reaktif [2].

Selulosa telah banyak dimodifikasi melalui modifikasi kimia seperti karboksimetilasi, sulfonasi, atau fosforilasi. Selulosa yang dimodifikasi dengan akrilamida melalui proses kopolimerisasi dapat meningkatkan daya serap air. Daya serap air produk meningkat beberapa kali lipat dari bobot awalnya sehingga modifikasi ini akan menghasilkan suatu polimer superabsorben. Polimer superabsorben dapat dimanfaatkan dalam banyak bidang di antaranya popok bayi, pembungkus makanan, teknik konstruksi, industri kimia, pengolahan limbah, bahan pembuat sensor, dan pelembap tanah [3].

Bahan utama superabsorben umumnya adalah poliakrilamida atau poliakrilat, suatu bahan sintetik. Penggunaan bahan ini dalam polimer superabsorben memiliki beberapa kelemahan, yaitu tidak terbarukan (bahan berasal dari petrokimia), non-biodegradabel, harganya mahal, dan tidak cocok untuk air yang mengandung garam dan tanah [4]. Pemanfaatan biomaterial dan bahan lain dalam usaha memperbaiki kelemahan polimer superabsorben sintetik telah dilakukan, misalnya dengan pencangkakan dan penautan-silang tapioka dengan akrilamida dan komposit tanah liat dengan pati [5].

Penelitian ini bertujuan mengkaji kopolimerisasi melalui pencangkakan dan penautan-silang fraksi nonpati ongkok dengan akrilamida untuk memperoleh superabsorben berdaya serap air tinggi.

2 METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat

Alat-alat yang digunakan adalah mesin pengaduk, peralatan kaca, neraca analitik, spektrofotometer inframerah transformasi Fourier (FTIR), dan mikroskop elektron payaran (SEM). Bahan-bahan yang digunakan adalah onggok yang diperoleh dari industri tapioka rakyat di daerah Bogor, akuades, gas nitrogen (BOC), akrilamida, amonium persulfat (APS), *N,N*-metilena-bis-akrilamida (MBA), metanol, etanol 95%, aseton, NaOH, H₂SO₄, HCl, dan indikator pH universal. Bahan kimia yang digunakan diperoleh dari Merck Tbk.

2.2 Analisis proksimat onggok

Analisis proksimat onggok mengacu pada [6] yang meliputi penetapan kadar air, abu, karbohidrat, protein, lemak, selulosa dan pati.

2.3 Hidrolisis Onggok

Ke dalam 150 g onggok ditambahkan 750 mL HCl 3% lalu dipanaskan hingga suhu 80 °C selama 1 jam. Sebagian onggok diuji dengan menggunakan pereaksi iodium (larutan I₂ dalam KI) pada lempeng tetes hingga tidak lagi mengalami perubahan warna. Tidak terjadinya perubahan warna menandakan bahwa onggok telah bebas pati. Aktivasi Onggok Ke dalam 5 g onggok bebas pati ditambahkan 100 mL H₂SO₄ 60% kemudian dipanaskan hingga suhu 60 °C selama 1 jam. Larutan kemudian disaring dengan penyaring vakum dan dicuci dengan akuades hingga mencapai pH netral.

2.4 Pencangkakan dan Penautan-silang Polimer Superabsoben

Metode pencangkakan dan penautan-silang polimer superabsorben mengacu pada [4]. Sebanyak masing-masing 5 g onggok bebas pati tanpa aktivasi dan yang telah diaktivasi diberi akuades dengan berbagai nisbah (1:10, 1:20, 1:30, dan 1:40) lalu diaduk hingga terbentuk bubur. Masing-masing bubur dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor, aliran gas nitrogen, penutup asah labu, dan mesin pengaduk. Kemudian labu leher tiga ditempatkan di atas penangas air dan dipanaskan pada suhu 95 °C selama 30 menit dengan dialiri gas nitrogen sampai tergelatinisasi. Setelah itu, suhu

diturunkan menjadi 60–65 °C, lalu ditambahkan inisiator APS sebanyak 250 mg yang telah dilarutkan dalam 12.5 mL akuades sambil diaduk selama 15 menit. Kemudian ke dalamnya ditambahkan secara perlahan campuran 25 g akrilamida dan 0.250 g MBA yang telah di larutkan dalam 200 mL akuades dan direaksikan selama 3 jam pada suhu 45, 70, dan 80 °C. Produk yang dihasilkan dicuci dengan metanol, etanol, lalu aseton. Selanjutnya dikeringkan pada suhu 60 °C hingga bobot produk tetap. Produk kering digiling hingga halus.

2.5 Saponifikasi

Proses saponifikasi produk mengacu pada [7]. Sebanyak 5 g produk pencangkakan dan penautan-silang ditambah 12.5 mL NaOH 1M dan 12.5 mL akuades kemudian dipanaskan sampai suhu 90 °C selama 2 jam. Setelah dinetralkan dengan HCl 1 M, campuran dikoagulasi dan diendapkan dengan metanol. Hasil saponifikasi dikeringkan pada suhu 60 °C dan digiling hingga halus (100–200 mesh).

2.4 Pengukuran Daya Serap Air

Sebanyak 0.1 g superabsorben (m_1) dimasukkan ke dalam air hingga bahan tersebut mengembang maksimum selama 24 jam. Sampel yang telah mengembang dipisahkan dari air yang tidak terserap menggunakan saringan 100 mesh dan ditimbang bobotnya (m_2). Kapasitas absorpsi air (Q_{eq}) ditentukan dengan menimbang sampel yang telah mengembang dan dihitung menggunakan persamaan.

$$Q_{eq} = \frac{m_2 - m_1}{m_1}$$

2.5 Pencirian

Pencirian dengan SEM dan FTIR dilakukan terhadap ongkok awal, setelah aktivasi, dan produk pencangkakan dan penautan-silang sebelum dan sesudah saponifikasi.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Proksimat, Selulosa, dan Pati

Analisis proksimat merupakan analisis pendahuluan terhadap bahan uji. Analisis yang dilakukan antara lain penentuan kadar air, kadar abu, kadar lemak, kadar protein, dan kadar

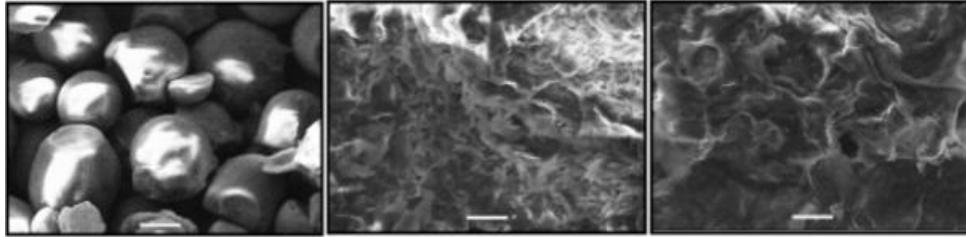
karbohidrat. Karbohidrat merupakan komponen utama dalam onggok, yaitu sebesar 82.70% dengan kandungan selulosa dan pati berturut sebesar 11.51% dan 71.88% (Tabel 1). Komposisi onggok yang digunakan berkesuaian dengan hasil penelitian lainnya [8,9]. Perlakuan deproteinasi, penghilangan lemak, dan demineralisasi tidak dilakukan terhadap onggok karena kadar komponen-komponen tersebut sangat rendah. Kemudian pati dalam onggok perlu dihilangkan, karena fokus penelitian ini adalah sintesis superabsorben dari fraksi karbohidrat nonpati onggok.

Tabel 1 Hasil analisis proksimat, selulosa dan pati

Analisis	Kadar (%)
Air	11.3
Abu	0.55
Protein	4.56
Lemak	0.21
Karbohidrat	82.70
Selulosa	11.51
Pati	71.88

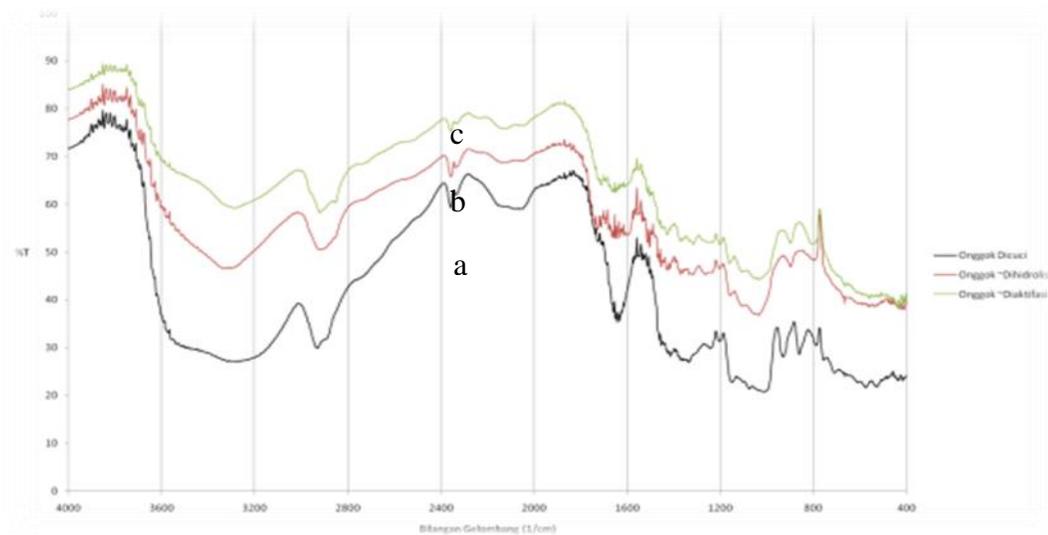
3.2 Penghilangan Pati dan Aktivasi

Pati dihilangkan dari onggok dengan menggunakan metode hidrolisis (HCl 3%, 1 jam). Aktivasi bertujuan mempermudah proses pencangkakan dan penautan-silang karena diharapkan struktur onggok akan semakin terbuka sehingga lebih banyak tapak aktif untuk reaksi pencangkakan. Hal ini dapat dilihat dari morfologi permukaan hasil SEM (Gambar 3). Permukaan onggok tanpa perlakuan tampak tertutupi butiran-butiran yang menjadi ciri khas pati [4]. Setelah dihidrolisis butiran-butiran pati sudah tidak terlihat lagi yang mengindikasikan bahwa proses hidrolisis atau penghilangan pati telah berlangsung. Keberlangsungan proses aktivasi terhadap onggok yang telah dihidrolisis ditunjukkan Gambar3 (b) dan 3 (c), yaitu semakin terbukanya struktur permukaan onggok sehingga tapak untuk pencangkakan dan penautan-silang menjadi lebih banyak.



Gambar 3 Citra SEM permukaan. (a) onggok awal (tanpa perlakuan) (b) fraksi non pati tanpa aktivasi, dan (c) fraksi nonpati dengan aktivasi.

Keberlangsungan proses penghilangan pati dan aktivasi juga ditunjukkan oleh spektrum FTIR. Onggok awal dan fraksi nonpati mempunyai perbedaan yang cukup signifikan pada bilangan gelombang 1650 cm^{-1} yang merupakan kisaran gugus karbonil. Pada spektrum FTIR onggok awal, tampak puncak yang menandakan serapan gugus karbonil dari protein. Setelah proses hidrolisis, pada serapan bilangan gelombang tersebut tidak terlalu kuat. Perbedaan spektrum FTIR dari fraksi nonpati tanpa aktivasi dengan yang diaktivasi adalah kerampingan pita serapan pada bilangan gelombang 3300 cm^{-1} yang diduga berasal dari berkurangnya ikatan hidrogen antarmolekul akibat proses aktivasi (Gambar 4).



Gambar 4 Spektrum FTIR (a) onggok awal (b) fraksi nonpati tanpa aktivasi (c) fraksi nonpati dengan aktivasi

3.3 Penentuan Parameter Awal

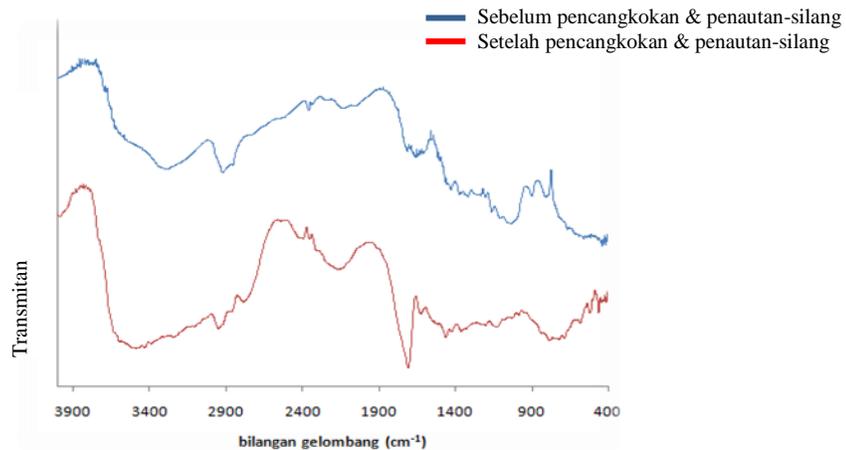
Polimer superabsorben disintesis melalui pencangkokan dan penautan-silang ongkok dengan monomer akrilamida, APS sebagai inisiator, dan MBA sebagai penaut silang. Penetapan nisbah ongkok dan air untuk pembentukan bubur dilakukan pada berbagai nisbah. Pada nisbah 1:10 dan 1:20 reaksi tidak berlangsung secara sempurna karena bubur sangat kental sehingga proses pengadukan tidak berjalan baik. Sementara pada nisbah 1:40 bubur sangat encer sehingga proses pencangkokan dan penautan-silang berlangsung lambat atau sama sekali tidak terjadi. Pengaruh suhu pada proses pencangkokan dan penautan-silang dilakukan pada 45, 70, dan 80 °C menggunakan nisbah ongkok air 1:30, dan diperoleh daya serap 18, 25, 15 kali berturut-turut. Penambahan monomer juga memengaruhi keberhasilan proses pencangkokan dan penautan-silang yang ditunjukkan oleh perbedaan daya serap air. Cara penambahan monomer tetes demi tetes menghasilkan daya serap air yang lebih besar (53 kali) dibandingkan dengan penambahan sekaligus (25 kali).

Ukuran partikel ongkok nonpati untuk proses sintesis sangat memengaruhi tingkat keberhasilan sintesisnya. Semakin kecil ukuran partikel, rendemen hasil pencangkokan dan penautan-silang akan meningkat. Produk yang dihasilkan oleh partikel ongkok yang berukuran kecil membentuk gel yang homogen, sedangkan bila digunakan partikel lebih besar, gel tidak terbentuk, reaksi tidak berlangsung, dan terbentuk 2 fase seperti semula.

Pencangkokan pada ongkok dilakukan melalui polimerisasi radikal bebas dengan inisiasi kimia menggunakan inisiator APS dalam kondisi lembam, menggunakan gas nitrogen. Gas nitrogen berfungsi menghilangkan dan menangkal masuknya oksigen ke dalam sistem reaksi. Selain itu, dimaksudkan untuk meminimumkan radikal peroksida yang dapat menghambat proses pencangkokan sehingga homopolimer tidak terbentuk. Interaksi gugus hidroksil pada ongkok dengan inisiator APS menyebabkan pembentukan radikal $RO\cdot$ atau $ROH\cdot$ dari OH selulosa sebagai pusat aktif terjadinya pencangkokan monomer.

Keberlangsungan proses pencangkokan dan penautan-silang ditunjukkan oleh spektrum FTIR dari bahan awal tanpa perlakuan dan setelah. Pita serapan pada bilangan gelombang 1650 cm^{-1} mencirikan gugus amida dari unit monomer dan penaut silang yang telah terikat secara kimia pada tulang punggung fraksi nonpati teraktivasi (Gambar 5). Akrilamida digunakan sebagai monomer untuk pencangkokan karena memiliki ikatan rangkap yang memungkinkan terjadinya reaksi pencangkokan. Mekanisme reaksi kopolimerisasi

pencangkakan mirip dengan reaksi polimerisasi adisi karena akrilamida memiliki gugus vinil. Radikal yang terbentuk dalam unit glukosa oleh APS selanjutnya akan menginduksi monomer.



Gambar 5. Spektrum FTIR sebelum dan sesudah proses pencangkakan dan penautan-silang.

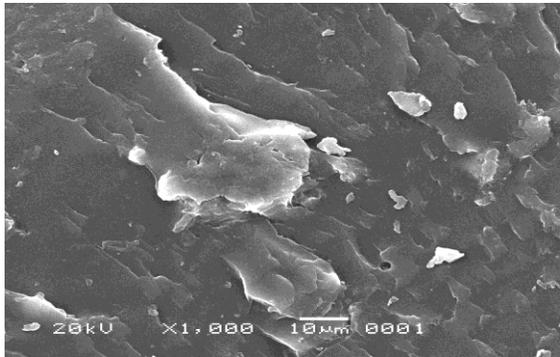
3.4 Pengaruh Aktivasi Fraksi Nonpati dan Saponifikasi terhadap Daya Serap Air Produk Pencangkakan dan Penautan-silang

Uji daya serap air dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sifat hidrofilisitas. Onggok pada dasarnya memiliki 3 gugus hidroksil pada setiap satuan glukosa penyusunnya sehingga sifat polaritasnya tinggi dan mampu menyerap air. Kopolimer pencangkakan dan penautan-silang onggok dengan akrilamida memiliki kinerja absorpsi yang berbeda. Kopolimerisasi pencangkakan dan penautan-silang menyebabkan peningkatan daya serap air dibandingkan dengan onggok awalnya [10]. Pengujian absorpsi dilakukan pada fraksi nonpati tanpa aktivasi dan yang diaktivasi. Setelah proses pencangkakan dan penautan-silang, dilakukan proses saponifikasi yang kemudian dibandingkan pula daya serapnya. Pengaruh aktivasi dan saponifikasi ditunjukkan oleh Tabel 2. Daya serap air kopolimer hasil pencangkakan dan penautan-silang onggok-akrilamida meningkat dengan perlakuan aktivasi. Aktivasi menyebabkan putusnya ikatan hidrogen antar rantai polisakarida sehingga struktur lebih terbuka [11].

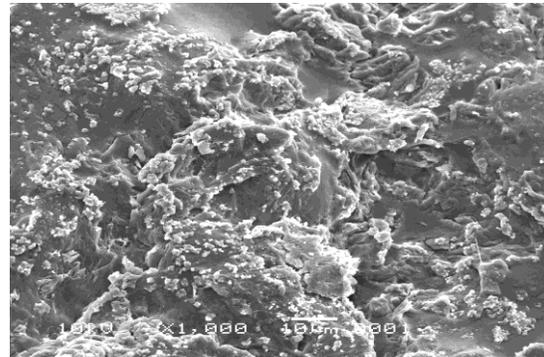
Tabel 2 Daya serap air produk pencangkakan dan penautan-silang fraksi non pati

Perlakuan	Daya serap air (g/g)
Tanpa perlakuan	25.21
Saponifikasi	273.30
Aktivasi	55.37
Aktivasi dan saponifikasi	262.07

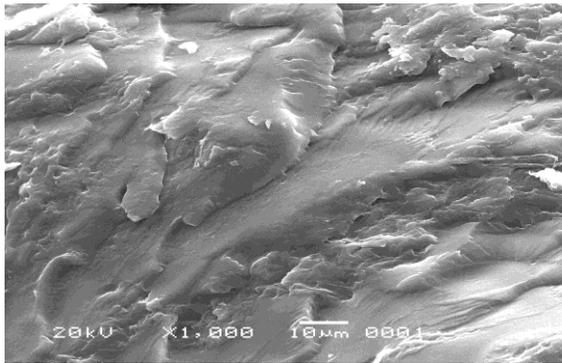
Daya serap meningkat secara drastis akibat proses saponifikasi. Peningkatan daya serap ini disebabkan oleh peningkatan muatan dalam sistem polimer akibat adanya konversi gugus fungsi $-NH_2$ menjadi COO^- [12]. Peningkatan daya serap yang disebabkan oleh saponifikasi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan peningkatan oleh aktivasi. Hal ini mungkin disebabkan perlakuan aktivasi hanya mampu memutuskan sedikit ikatan hidrogen. Hasil SEM (Gambar 6) memperlihatkan bahwa saponifikasi mengubah morfologi permukaan produk pencangkakan dan penautan-silang dari fraksi nonpati menjadi lebih kasar dan berlapis. Aktivasi yang dilanjutkan dengan saponifikasi menyebabkan perubahan yang lebih nyata, yaitu permukaan menjadi lebih kasar, berongga, dan berlapis.



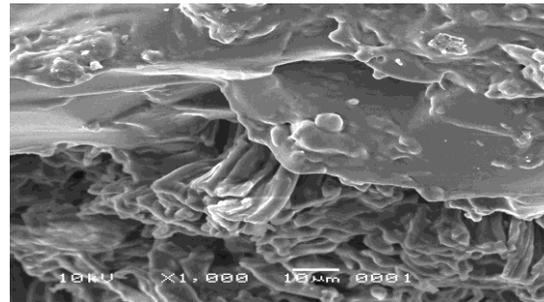
(a) Fraksi non pati



(b) Fraksi nonpati dengan saponifikasi



(c) Fraksi non-pati dengan aktivasi



(d) Fraksi non pati dengan aktivasi dan saponifikasi

Gambar 6 mikrofotograf produk pencangkakan dan penautan silang

4 SIMPULAN

Fraksi nonpati onggok yang dimodifikasi melalui pencangkakan dan penautan-silang menggunakan akrilamida sebagai monomer dengan bantuan inisiator APS dan penaut silang MBA dan kemudian disaponifikasi berpotensi sebagai superabsorben dengan daya serap air mencapai lebih 200 kali dari bobot awalnya. Proses pencangkakan dan penautan-silang optimum ketika dilakukan dengan nisbah air-onggok 1:30, dan suhu 70 oC. Proses aktivasi fraksi nonpati onggok dan saponifikasi produk pencangkakan dan penautan-silang mampu meningkatkan daya serap air superabsorban tetapi peningkatan akibat saponifikasi jauh lebih tinggi daripada peningkatan akibat aktivasi. Oleh karena itu proses aktivasi masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

5. PUSTAKA

- [16] Pakpahan A, Pasaribu SM, Djauhari A, Nasution A. 1993. *Cassava marketing system in Indonesia*. IARD-J 15:52-59.
- [17] Achmadi SS. 1990. *Kimia Kayu*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [18] Swantono D, Kartini M, Rany S. 2008. Pembuatan komposit polimer superabsorben dengan mesin berkas elektron. *JFN* 2:143-156.
- [19] Liang R, Yuan H, Xi G, Zhou Q. 2009. Synthesis of wheat straw-g-poly(acrylic acid) superabsorbent composites and release urea from it. *Carbohydr Polym* 77:181-187.

- [20] Hua S, Aiqin W. 2009. Synthesis, characterization and swelling behaviors of sodium alginate-g-poly(acrylic acid)/sodium humate superabsorbent. *Carbohydr Polym* 75:79-84.
- [21] [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 1999. AOAC Peer – Verified Method Program. USA: AOAC International
- [22] Nakason C, Wofmang T, Kaesaman A, Kiatkamjornwong. 2010. Preparations of cassava starch-graft-polyacrylamide superabsorbent and associated composites by reactive blending. *Carbohydr Polym* 81:348-357.
- [23] Djuma'ali, Soewarno N, Sumarno, Primarini D, Sumaryono W. 2011. Cassava pulp as a biofuel feedstock of an enzymatic hydrolysis process. *Makara, Teknologi*, 15(2): 183-192
- [24] Chotineerarat S, Pradistsuwana C, Siritheerasas P, Tantratian S. 2004. Reducing sugar production from cassava pulp using enzymes and ultrafiltration I: Enzymatic hydrolyzation. *J. Sci. Res. Chula. Univ.*, 29(2):119-128
- [25] Padmanabha RMK. Mohana R, Morali P. 2004. Synthesis and swelling behavior of superabsorbent polymeric materials. *Int J Polym Anal Charact* 8:245-253.
- [26] Mohana R. 2006. Synthesis and swelling behavior of acrylamide-potassium methacrylate superabsorbent copolymers. *Int J Polym Mat* 55:1-23.
- [27] Li A, Aiqin W. 2006. Superabsorbent composite. X. Effects of saponification on properties of polyacrylamide/attapulgate. *Polym Eng Sci* 32:1762-1767.

REGENERASI SECARA *INVITRO* DENGAN PERLAKUAN SITOKININ DAN UJI FITOKIMIA *TACCA LEONTOPEALOIDES*

Ricson Pemimpin Hutagaol, S.Si., M.Si.¹⁾ Asteria Aviana²⁾ dan Betalini Widhi
Hapsari, SP., M.Si.²⁾

1.) Universitas Nusa Bangsa, Bogor. Email: rics_htgl@yahoo.com. Alamat: Jalan
Baru Km 4 Bogor.

2). Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Cibinong Bogor

ABSTRAK

Jumlah penduduk Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun, disertai dengan keterbatasan sumber pangan utama yaitu beras dan terigu, maka diversifikasi pangan perlu ditingkatkan. Di sisi lain wilayah penghasil pangan telah berubah fungsi menjadi lokasi pemukiman, perkantoran, pabrik dan prasarana jalan sehingga dari tahun ke tahun luas wilayah produksi pangan semakin berkurang yang berakibat pada menurunnya stok pangan nasional.

Salah satu umbi yang akan dikembangkan adalah *Tacca leontopetaloides*. Taka (*Tacca leontopetaloides*) merupakan jenis tumbuhan liar, banyak dijumpai di daerah pesisir, umumnya pada ketinggian 200 m dpl. Umbinya yang berukuran cukup besar dan enak dimakan serta dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan pengganti karbohidrat.

Penelitian ini difokuskan dengan menanam bonggol dan daun taka yang berasal dari planlet taka di media MS (*Murashige Skoog*, 1962) ke media kombinasi MS + BAP (benzil amino purin) dan media kombinasi MS + kinetin. Setelah itu dilakukan pengujian kandungan bahan aktif dengan mengekstraksi tanaman taka dengan metode maserasi menggunakan pelarut etanol 96%. Tanaman taka yang digunakan adalah tanaman dari hasil penggunaan media terbaik dalam kultur jaringan selama 12 minggu kemudian diuji fitokimia

Berdasarkan hasil penelitian, media terbaik yang dapat digunakan untuk perbanyakan tunas pada eksplan bonggol adalah BAP 0,5 mg/l sedangkan untuk peningkatan tinggi tunas adalah Kinetin 0,5 mg/l. Dalam pembentukan kalus pada eksplan petiol dan daun media terbaik yang dapat digunakan adalah BAP 0,5 mg/l sedangkan pembentukan akar pada eksplan bonggol penggunaan ZPT tidak berpengaruh.

Berdasarkan uji fitokimia, ekstrak etanol 96% taka dari hasil kultur jaringan mengandung senyawa steroid

Kata Kunci : *Tacca leontopetaloides*, Kinetin, Benzil Amino Purin, Murashige Skoog (MS)

PENDAHULUAN

Jumlah penduduk Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun, disertai dengan keterbatasan sumber pangan utama yaitu beras dan terigu, karena itu diversifikasi pangan perlu ditingkatkan. Di sisi lain wilayah pertanian telah berubah fungsi menjadi lokasi pemukiman, perkantoran, pabrik dan prasarana jalan sehingga dari tahun ke tahun luas

wilayah produksi pangan semakin berkurang yang berakibat pada menurunnya stok pangan nasional. Selain itu, tanaman pangan Indonesia terpusat hanya pada beberapa komoditi utama seperti padi, jagung, kedele, ubikayu, dan ubijalar, sehingga dengan bertambahnya jumlah penduduk tanpa diimbangi dengan bertambahnya produksi pangan, sehingga stok pangan nasional akan terganggu. Oleh karena itu, perlu dikembangkan jenis-jenis komoditas baru yang mampu menjadi sumber karbohidrat, protein, lemak dan vitamin (Purwoko, 2011).

Di Indonesia terdapat keanekaragaman flora penghasil umbi yang menjadi sumber karbohidrat seperti ubi jalar, kentang, wortel, singkong, talas, uwi (*Dioscorea sp*), dan jenis-jenis lain termasuk *Tacca leontopetaloides* (taka). Taka merupakan jenis tumbuhan liar, banyak dijumpai di daerah pesisir, umumnya pada ketinggian 200 m dpl. Umbinya yang berukuran cukup besar dan kandungan karbohidrat yang besar potensial dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan. Tetapi perlu diteliti juga bahan lain seperti zat anti nutrisi yang mungkin terdapat pada tanaman ini, seperti hasil penelitian Ubwa, dkk 2011 menyatakan bahwa kulit buah, batang dari *Tacca leontopetaloides* mengandung zat anti nutrisi yang tinggi sehingga sebelum digunakan sebagai sumber pangan perlu penanganan khusus.

Taka secara spesifik belum dibudidayakan dan tumbuh terbatas di daerah sekitar pantai. Oleh karena itu, pengembangan tanaman ini untuk budidaya sangat diperlukan, salah satunya yaitu dengan menggunakan metode kultur jaringan. Beberapa penelitian telah dilakukan propagasi in vitro dari *Tacca leontopetaloides* (L.,) Kuntze di Nigeria dengan perlakuan BAP 0,025mg/L-0,1mg/L dan BAP 0,025mg/L-0,1mg/L+ NAA 0,01mg (Borokini, dkk 2011).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berbagai konsentrasi zat pengatur tumbuh sitokinin yaitu BAP (Benzil Amino Purin) dan Kinetin dengan konsentrasi 0,1; 0,5; 1 dan 2 mg/L pada pertumbuhan *Tacca leontopetaloides* dan untuk melakukan uji fitokimia untuk mengetahui senyawa metabolit sekunder pada tanaman *Tacca leontopetaloides* hasil kultur jaringan.

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai konsentrasi zat pengatur tumbuh terbaik, khususnya sitokinin, yang dapat digunakan untuk perbanyakan tanaman *Tacca leontopetaloides* secara in vitro dan memberikan informasi mengenai identifikasi uji fitokimianya

METODA PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2012 – Mei 2012 di Laboratorium Biak Sel dan Jaringan Tanaman Bidang Biologi Sel dan Jaringan Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Cibinong Science Center Jalan Raya Bogor KM 46, Cibinong, Bogor dan laboratorium Kimia Universitas Nusa Bangsa, Jalan Sholeh Iskandar Km 4 Bogor.

Budidaya taka dilakukan dengan metode kultur jaringan dengan mempergunakan media MS dan penambahan ZPT BAP dan Kinetin dengan konsentrasi 0,1; 0,5; 1,0 dan 2,0 mg/l dengan penentuan pertumbuhan tanaman. Tanaman hasil kultur perlakuan ZPT lalu dianalisa dengan uji fitokimia.

Sampel yang dianalisis merupakan sampel yang terlebih dahulu ditanam pada media MS, planlet diambil dan dipisah menjadi 2 bagian, yaitu bonggol dan daun. Kemudian eksplan dikulturkan ke dalam media perlakuan BAP dan Kinetin.

Pembuatan Media Kinetin dan Benzil amino Purin (BAP)

Pembuatan media MS yang mengandung kinetin dan juga media MS dengan BAP dibuat dengan berbagai konsentrasi yaitu 0,1; 0,5; 1; dan 2 mg/l. Pembuatan media MS + kinetin atau BAP sebanyak 200 ml. Sebanyak 10 ml larutan stok makro, 0,4 ml larutan stok mikro, 1 ml vitamin MS, 1 ml NaFeEDTA dan ditambahkan stok kinetin atau BAP 100 ppm, untuk konsentrasi 0,1 ppm ditambahkan 0,2 ml; 0,5 ppm ditambahkan 1 ml; 1 ppm ditambahkan 2 ml; dan 2 ppm ditambahkan 4 ml kemudian diaduk hingga larut. Larutan tersebut ditambahkan 20 mg myo-inositol dan 6 gr sukrosa, kemudian diaduk kembali hingga larut sempurna. Setelah larut sempurna, larutan tersebut ditera hingga tepat 200 ml. pH media diatur sekitar 5,6-5,8. Setelah pH sesuai, ditambahkan 1,6 gr agar dan dimasak di atas *hot plate* hingga mendidih. Setelah mendidih, media dituang ke dalam botol-botol kultur dan disterilisasi dengan autoklaf selama 15 menit dengan suhu 121°C dan tekanan 15 psi.

Penanaman dan Pengamatan *Tacca leontopetaloides*

Semua tahap penanaman dilakukan dalam keadaan aseptik dalam *laminar air flow*. Tanaman dipotong menjadi 2 bagian eksplan yaitu daun dan bonggol. Pemotongan dilakukan di atas tisu di dalam petri steril, lalu masing-masing eksplan ditanam dalam media MS sebagai media kontrol, dan media perlakuan MS+BAP 0,1; 0,5; 1,0 dan 2,0 mg/l dan MS+Kinetin 0,1; 0,5; 1,0 dan 2,0 mg/l dengan pengulangan masing-masing 3 ulangan. Kultur

disimpan di dalam ruang kultur, dengan cahaya lampu TL 18 watt dengan suhu ruangan berkisar 24-25°C. Pengamatan dilakukan setiap minggu selama 12 minggu dengan menghitung jumlah daun, tinggi tunas, dan akar.

Pembuatan Ekstrak

Tanaman taka hasil konservasi *in vitro* selama 2 bulan, dibersihkan dari agar atau kotoran yang menempel, dicuci dengan air hingga bersih, ditiriskan untuk membersihkan sampel dari sisa-sisa air cucian, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam. Selanjutnya sampel digiling sehingga menjadi simplisia serbuk lalu diayak dengan *mesh* 40. Proses ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi dengan menggunakan pelarut etanol 96%. Perbandingan jumlah sampel yang akan diekstrak dengan pelarut 1:10. Campuran sampel dan pelarut direndam selama 6 jam sambil diaduk dengan stirer, kemudian dibiarkan selama 24 jam. Setelah proses maserasi selesai, campuran disaring, lalu filtrat disimpan dalam wadah tertutup, kemudian diuapkan dengan *rotary evaporator* hingga berbentuk ekstrak kental lalu ditimbang.

Uji Fitokimia

Uji fitokimia merupakan uji kimia kualitatif yang dilakukan sebagai uji pendahuluan untuk mengetahui golongan senyawa metabolit sekunder apa saja yang terapat pada suatu sampel. Uji fitokimia yang dilakukan meliputi identifikasi senyawa golongan alkaloid, steroid/ triterpenoid, flavonoid, saponin dan tannin. Jumlah sampel yang digunakan adalah 0,2 gr ekstrak sampel. (Harbone, 1987).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Tanaman taka

Hasil pengamatan selama 12 minggu pada media MS menunjukkan penambahan BAP dan Kinetin pada konsentrasi yang berbeda memberikan respon pertumbuhan yang berbeda-beda terhadap parameter yang diamati yaitu jumlah tunas, tinggi tunas dan keberadaan akar.

Jumlah Tunas

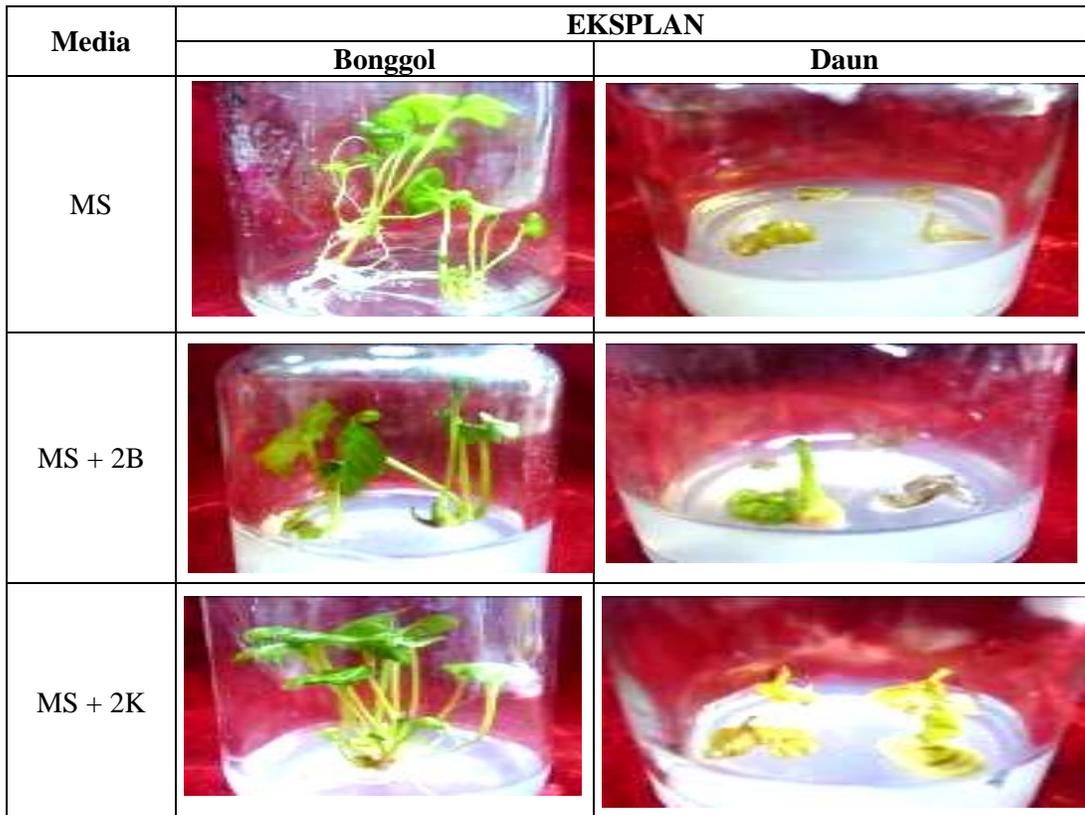
Saat munculnya tunas pada eksplan bonggol dan daun dapat dilihat pada Tabel 1 yang menunjukkan bahwa pada minggu pertama sudah terbentuk tunas dari eksplan bonggol, sedangkan eksplan daun pada minggu ke-8.

Tabel 1. Saat Munculnya Tunas pada Eksplan Bonggol dan Daun

Waktu	Eksplan Bonggol								
	Konsentrasi (mg/l)								
	0	0.1 B	0.5 B	1.0 B	2.0 B	0.1 K	0.5 K	1.0 K	2.0 K
M-1	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M-4	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M-8	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M-9	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M-12	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Eksplan Daun									
M-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M-8	-	-	-	-	+	-	-	-	-
M-9	-	-	+	-	+	-	-	-	-
M-12	-	-	+	+	+	-	-	-	-

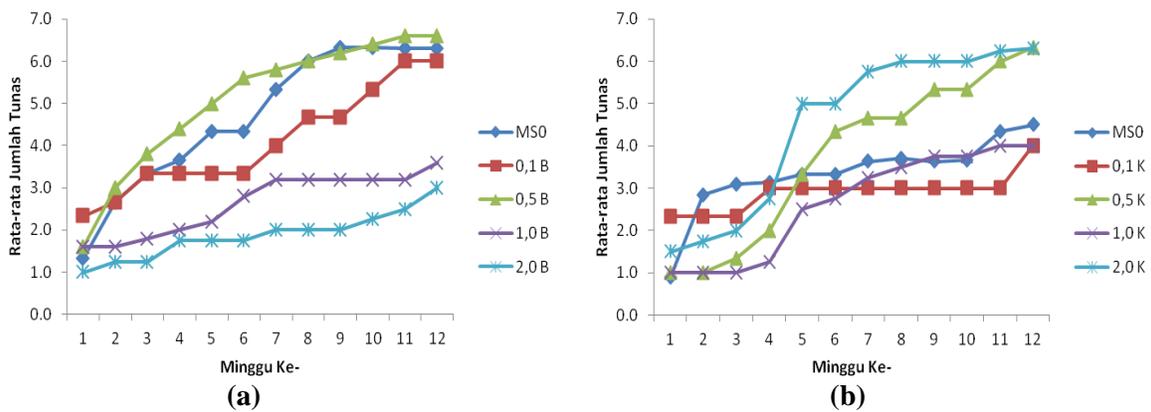
Keterangan : (+) = sudah muncul tunas; (-) = belum muncul tunas
M = minggu; B = BAP; K = Kinetin

Gambar 1 dibawah ini merupakan contoh beberapa eksplan yang ditumbuhkan pada berbagai media.



Gambar 1. Pertumbuhan Eksplan Bonggol dan Daun Taka pada media MS, MS+2B, MS+2K pada Minggu ke-12

Kurva pertumbuhan rata-rata jumlah tunas pada eksplan bonggol dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.

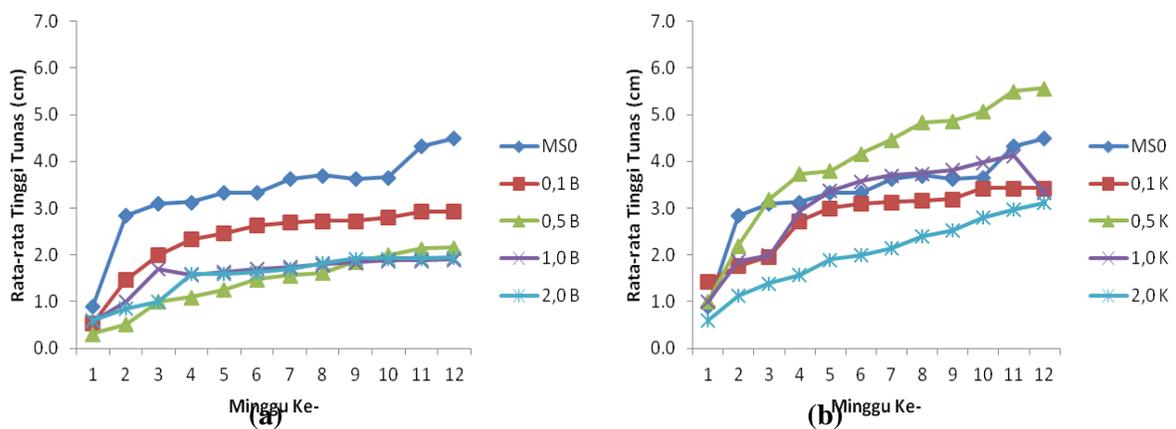


Gambar 7. Kurva Pertumbuhan Rata-rata Jumlah Tunas dari Eksplan Bonggol Taka pada Media BAP (a) dan Kinetin (b)

Berdasarkan kurva pertumbuhan rata-rata jumlah tunas dari eksplan bonggol taka dari minggu pertama sampai minggu terakhir pengamatan pada beberapa perlakuan menunjukkan adanya kenaikan, terlihat bahwa jumlah rata-rata tunas dari kelompok perlakuan BAP pada minggu ke 12 dengan konsentrasi 0,5 mg/l menghasilkan rata-rata tertinggi yaitu 6,6; sedangkan pada perlakuan Kinetin juga memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan jumlah tunas yaitu pada konsentrasi 0,5 dan 2,0 mg/l menghasilkan rata-rata 6,3 tetapi tidak sebaik BAP dan pada perlakuan kontrol MS juga menghasilkan rata-rata pertumbuhan tunas sebesar 6,3. Dengan demikian untuk selanjutnya sebaiknya BAP 0,5 mg/l dipergunakan untuk perbanyak tunas pada tanaman taka. Hal ini sesuai dengan pernyataan George dan Sherington (1984) bahwa BAP paling baik digunakan untuk memacu pembentukan tunas, BAP diserap tanaman secara optimum sehingga terjadi pembelahan sel. Setelah terjadi pembelahan sel dilanjutkan dengan proses pembentukan tunas.

Pertumbuhan Tinggi Tunas

Hasil penelitian kultur taka pada pertumbuhan tunas tertinggi, menunjukkan bahwa pertumbuhan tinggi tunas terjadi pada eksplan bonggol, sedangkan pada eksplan daun tidak mengalami pertumbuhan tinggi tunas. Rata-rata pertumbuhan tinggi tiap minggu pada eksplan bonggol taka dengan berbagai konsentrasi media perlakuan dapat dilihat pada Gambar 3.



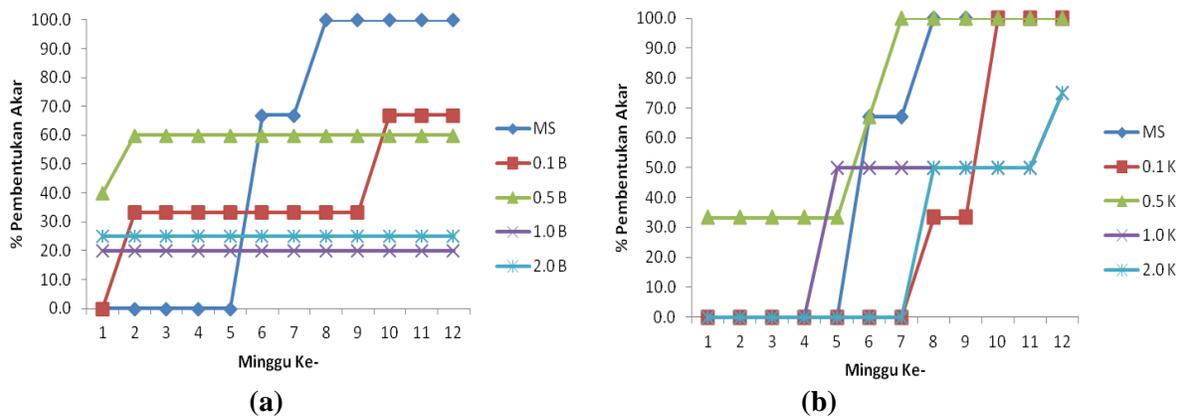
Gambar 8. Kurva Rata-rata Pertumbuhan Tinggi Tunas dari Eksplan Bonggol Taka pada Media BAP (a) dan Kinetin (b)

Berdasarkan Gambar 3, grafik rata-rata pertambahan tinggi tunas taka dari minggu pertama sampai minggu terakhir (minggu ke-12) pengamatan menunjukkan adanya peningkatan pada media MS dan MS dengan penambahan BAP sedangkan pada media MS dengan penambahan Kinetin terdapat penurunan yaitu pada konsentrasi 1,0 mg/l saja, hal ini dikarenakan pada pengamatan minggu ke-12 tanaman mengalami kontaminasi.

Sedangkan pada Kinetin konsentrasi 0,5 mg/l menunjukkan hasil yang terbaik dalam rata-rata pertumbuhan tinggi yaitu sebesar 5,6 cm. Pada media perlakuan BAP rata-rata yang menunjukkan hasil tertinggi pada konsentrasi 0,1 mg/l yaitu sebesar 2,9 cm dan pada media MS sebesar 4,5 cm. Dengan demikian untuk selanjutnya sebaiknya Kinetin dengan konsentrasi 0,5 mg/l dipergunakan untuk pertumbuhan tinggi tunas pada tanaman taka, hal ini sesuai dengan fungsi Kinetin yaitu mendorong pembelahan dan pemanjangan sel (Wattimena, 1988).

Pembentukan Akar

Berdasarkan pengamatan visual akar, pembentukan akar terjadi pada eksplan bonggol, sedangkan pada eksplan petiol dan daun tidak terjadi pembentukan akar. Pembentukan akar dihitung persentasenya dengan cara jumlah tanaman yang terbentuk akar dibagi dengan jumlah tanaman yang tumbuh dikali 100%. Rata-rata persen pembentukan akar dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 9. Persen Pembentukan Akar Pada Eksplan Bonggol taka pada Media BAP (a) dan Kinetin (b)

Berdasarkan grafik pada akhir pengamatan (minggu ke-12), persentase pembentukan akar pada eksplan bonggol yang paling tinggi didapat dari perlakuan MS, Kinetin 0,1 dan 0,5 mg/l yaitu 100%. Sedangkan persentase akar yang paling rendah didapat dari perlakuan BAP

1,0 mg/l yaitu 20%. Dengan demikian dapat dikatakan penggunaan zat pengatur tumbuh tidak berpengaruh terhadap pembentukan akar, sehingga hanya dengan media MS tanpa penambahan zat pengatur tumbuh dapat dipergunakan untuk meningkatkan pembentukan akar pada tanaman taka. Menurut Pierik (1987), peningkatan konsentrasi BAP cenderung menekan pertumbuhan akar karena BAP termasuk jenis sitokinin yang dapat menghambat inisiasi akar dan pertumbuhan akar, terutama bila diberikan dalam konsentrasi yang tinggi.

pengaruh kandungan auksin endogen yang terbawa oleh eksplan sehingga berinteraksi dengan BAP.

Uji Fitokimia

Uji fitokimia merupakan uji pendahuluan untuk melanjutkan penelitian ke tahap selanjutnya karena dilakukan secara kualitatif sehingga tidak bisa secara langsung menentukan kadar antioksidan dalam tanaman taka. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui ada atau tidaknya senyawa metabolit sekunder di dalam sampel tersebut. Hasil uji fitokimia sampel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Fitokimia Ekstrak Etanol 96% Hasil Kultur Jaringan taka

No.	Nama Bahan Uji	Uji Fitokimia					
		Alkaloid		Flavonoid	Steroid	Tanin	Saponin
		Mayer	Dragendroff				
Hasil Kultur Jaringan (<i>In vitro</i>) :							
1	MS	-	-	-	+	-	-
2	1/2 Kinetin	-	-	-	+	-	-
3	1/2 BAP	-	-	-	+	-	-

Uji steroid atau triterpenoid, dilakukan dengan penambahan dietil eter untuk mengekstrak steroid agar sempurna. Uji ini menggunakan pereaksi Liebermann-Burchard, yaitu pereaksi yang dibuat dari campuran kloroform, asam asetat anhidrida dan H₂SO₄ pekat. Kloroform digunakan untuk melarutkan steroid/ triterpenoid. Asam asetat anhidrida berfungsi sebagai pembentuk kompleks warna dengan steroid/ triterpenoid dan H₂SO₄ berfungsi sebagai katalis (Bintang, 2010). Hasil positif ditunjukkan dengan terbentuknya cairan berwarna hijau pekat pada sampel, warna yang terbentuk disebabkan gugus OH pada steroid/ triterpenoid bereaksi dengan pereaksi Liebermann-Burchard dan meningkatkan kejenuhan dalam batas penyatuan cincin. Diperoleh hasil positif uji steroid dengan terbentuknya warna

hijau pekat pada sampel ekstrak etanol 96% hasil kultur jaringan taka yaitu pada media MSO, ½ K dan ½ B.

KESIMPULAN

Media terbaik yang dapat digunakan untuk perbanyak tunas pada eksplan bonggol adalah BAP 0,5 mg/l sedangkan untuk peningkatan tinggi tunas adalah Kinetin 0,5 mg/l. Sumber eksplan bonggol lebih baik untuk regenerasi dibanding daun. Sedangkan pembentukan akar pada eksplan bonggol penggunaan ZPT tidak berpengaruh.

Berdasarkan uji fitokimia, ekstrak etanol 96% taka dari hasil kultur jaringan mengandung senyawa steroid.

PUSTAKA

- [1] Bintang, Maria. 2010. Biokimia Teknik Penelitian. Erlangga. Jakarta
- [2] Borokini T.I, Lawyer E.F, and Ayodele A.E. 2011. In vitro propagation of *Tacca leontopetaloides* (L.) Kuntze in Nigeria. *Egyptian Journal of Biology*, 2011, Vol. 13, pp 51-56. Egypt.
- [3] George, E. F. and P. D. Sherrington. 1984. Plant Propagation by Tissue Culture. Handbook and Directory of Commercial Laboratories. England: Exegenetic Limited.
- [4] Harbone JB. 1987. Metode Fitokimia. Padmawati K, Soediro I, penerjemah. Bandung. Penerbit ITB. Terjemahan dari: Phytochemical Method.
- [5] Pierik, R. L. M. 1987. In Vitro Culture of Higher Plants. Dordrecht. Martinus Nijhoff Publisher.
- [6] Purwoko. 2011. Impor Beras Ancam Kedaulatan Pangan Nasional. Republika. Jakarta.
- [7] Ubwa, S.T., B.A. Anhwange dan J.T. Chia. 2011 Chemical Analysis of *Tacca leontopetaloides* Peels. *American J. of Food Technol.*, 6(10): 932-938.
- [8] Wattimena, G. A. 1988. Zat Pengatur Tumbuh Tanaman. Bogor. PAU IPB.

**UJI TOKSISITAS AKUT DARI EKSTRAK ETANOL
KUKIT BATANG ,BUAH, DAN KULIT AKAR ASAM KANDIS
(*GARCINIA COWA ROXB.*)**

Darwati¹, Anni Anggraeni², dan Sri Adi Sumiwi

¹Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia

²Fakultas Farmasi Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia

E-mail: darwatititi@yahoo.co.ci

ABSTRAK

Obat tradisional secara empirik harus dapat berkembang dengan pembuktian secara ilmiah, begitu pun pada tanaman kandis (*Garcinia cowa* Roxb.) yang memerlukan uji toksisitas akut untuk mengetahui keamanan penggunaannya. Pengujian toksisitas akut bertujuan untuk mengetahui dosis toksik ekstrak etanol kombinasi kulit batang, kulit akar, dan biji buah kandis pada mencit yang dinyatakan dalam nilai LD₅₀ dengan menggunakan metode Log probabilitas. Hewan uji dibagi ke dalam kelompok kontrol (PGA 2%) dan kelompok uji yang diberikan suspensi ekstrak dengan beberapa variasi dosis secara peroral. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai LD₅₀ ekstrak etanol kombinasi kulit batang, kulit akar, dan biji buah kandis yang dinyatakan dengan kumulatif mortalitas (kematian) pada mencit jantan dan betina adalah sebesar 15 g/kg BB yang sebanding dengan dosis 10,5 g/kg BB pada tikus. Berdasarkan kriteria toksisitas yang digolongkan oleh Hodge dan Sterner dapat disimpulkan bahwa ekstrak etanol kombinasi kulit batang, kulit akar, dan biji buah kandis, baik tikus jantan maupun betina berada pada rentang dosis kriteria praktis tidak toksik karena LD₅₀ berada pada rentang dosis 5-15 g/kg BB pada tikus.

Kata kunci : Kulit batang, kulit akar, dan biji buah *Garcinia cowa* Roxb., toksisitas akut, metode log probabilitas, nilai LD₅₀

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara terkaya di dunia dalam cadangan plasma nutfah tanaman obat. Terdapat sekitar 30.000 spesies tanaman, 9600 spesies diantaranya berpotensi untuk dikembangkan menjadi tanaman obat, dan kurang lebih hanya 300 spesies yang telah digunakan sebagai bahan obat tradisional oleh industri obat tradisional (Hidayat,2011). Penggunaan obat tradisional di Indonesia merupakan bagian budaya dan telah dimanfaatkan oleh masyarakat sejak berabad abad yang lalu. Obat tradisional yang didasarkan pada pendekatan warisan secara turun temurun dan pendekatan empirik disebut jamu. Namun demikian, secara umum efektifitas dan keamanan dari jamu belum

sepenuhnya didukung hasil penelitian yang memadai. Menurut Keputusan Menteri Kesehatan RI No 381/Menkes/SK/III/2007 tentang Kebijakan Obat Tradisional Nasional pemanfaatan dan pengembangan obat tradisional di berbagai daerah selanjutnya harus berkembang melalui pembuktian ilmiah melalui uji pra-klinik dan uji.

Salah satu tumbuhan yang klinik berpotensi sebagai tanaman obat adalah tumbuhan manggis mangisan (*Garcinia*). *Garcinia* adalah genus dari famili Guttifera yang tersebar luas di Thailand, Malaysia, dan Indonesia (Whitmore, 1973). Genus *Garcinia* telah dikenal kaya akan metabolit sekunder seperti flavonoid, santon, dan benzofenon. Beberapa penelitian tentang aktivitas biologi sangat bervariasi seperti sitotoksik, antiinflamasi, anti-mikrobal, anti-fungi, anti-oksidan, dan anti-HIV (Mackeen, et al, 2006). Pencaharian senyawa yang beraktifitas biologi terpusat pada *Garcinia cowa* Roxb, yang merupakan tanaman yang terdistribusi di daerah hutan tropis Asia dan Asia Tenggara (Panthong, et al, 2006). Dari spesies *Garcinia* kami laporkan suatu senyawa yang mempunyai aktifitas antibakteri dari ekstrak kasar kulit batang, buah, dan akar *G.cowa* dan mengisolasi senyawa murninya.

Pembuktian obat tradisioanl secara ilmiah agar dapat ditingkatkan menjadi sediaan obat herbal terstandar atau fitofarmaka dapat diwujudkan melalui pengujian aktivitas farmakologi maupun toksisitas. Begitu pula pada tanaman asam kandis (*Garcinia cowa* Roxb.) telah dilakuakn uji toksisitas untuk mengetahui tingkat keamanan bagi penggunaanya

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Bahan tumbuhan berupa kulit batang *G. cowa* dikumpulkan dari Hutan Sarahsabonta Sumatera Barat pada bulan April 2012. Spesimen tumbuhan ini diidentifikasi di Herbarium Bogoriensis, Bogor. Bahan kimia yang digunakan terdiri dari : aquades, etanol 70 %, pulvis gummi arabicum 2% (PGA 2%), Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berupa alat gelas dan perangkat instrumentasi yang biasa digunakan di Laboratorium Kimia Organik Bahan Alam,

2.2 Ekstraksi Simplisia

Metode ekstraksi yang digunakan adalah maserasi dengan menggunakan pelarut etanol 70%. Serbuk simplisia kulit batang kandis (*Garcinia cowa* Roxb.) dimasukkan ke dalam maserator, kemudian ditambahkan pelarut etanol 70% sampai seluruh serbuk terendam dan didiamkan

selama 24 jam. Penampungan maserat dan penggantian pelarut dilakukan setiap 24 jam sebanyak tiga kali. Maserat yang diperoleh dipekatkan dengan menggunakan *rotary evaporator* pada tekanan rendah dan suhu 40°C sampai terbentuk ekstrak kental.

2.3 Pengujian Toksisitas Akut

Pengujian toksisitas akut dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Sediaan uji dibuat dengan variasi empat dosis. Masing-masing ekstrak kental ditimbang sesuai dengan dosis yang telah ditentukan (8 g/kg, 12 g/kg, 16 g/kg, dan 20 g/kg bobot badan), lalu dibuat suspensi kombinasi ekstrak dengan menggunakan PGA 2%. Masing-masing sediaan dibuat sebanyak 10 mL. Setiap sediaan uji dimasukkan ke dalam botol vial dan diberi label.
2. Hewan uji mencit jantan dan betina yang telah ditimbang bobot badannya masing-masing dikelompokkan menjadi lima kelompok, yaitu kelompok kontrol, kelompok uji pertama, kelompok uji kedua, kelompok uji ketiga, dan kelompok uji keempat. Tiap kelompok terdiri dari 5 ekor mencit.
3. Hewan uji dipuasakan selama 18 jam sebelum dilakukan pengujian dengan tetap diberi minum.
4. Seluruh hewan uji dari tiap kelompok diberi perlakuan sesuai dengan kelompoknya seperti tertera pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2

Tabel 2.1 Pembagian Kelompok Perlakuan pada Mencit Jantan

No.	Kelompok	Keterangan
1	Kontrol	Diberi sediaan suspensi PGA 2%
2	Kelompok uji pertama	Diberi sediaan suspensi ekstrak uji pada dosis 8 g/kg bobot badan
3	Kelompok uji kedua	Diberi sediaan suspensi ekstrak uji pada dosis 12 g/kg bobot badan
4	Kelompok uji ketiga	Diberi sediaan suspensi ekstrak uji pada dosis 16 g/kg bobot badan
5	Kelompok uji keempat	Diberi sediaan suspensi ekstrak uji pada dosis 20 g/kg bobot badan

Tabel 2.2 Pembagian Kelompok Perlakuan pada Mencit Betina

No.	Kelompok	Keterangan
1	Kontrol	Diberi sediaan suspensi PGA 2%
2	Kelompok uji pertama	Diberi sediaan suspensi ekstrak uji pada dosis 8 g/kg bobot badan
3	Kelompok uji kedua	Diberi sediaan suspensi ekstrak uji pada dosis 12 g/kg bobot badan
4	Kelompok uji ketiga	Diberi sediaan suspensi ekstrak uji pada dosis 16 g/kg bobot badan
5	Kelompok uji keempat	Diberi sediaan suspensi ekstrak uji pada dosis 20 g/kg bobot badan

5. Pemberian suspensi ekstrak dilakukan secara peroral dan setiap kelompok uji, baik mencit jantan maupun betina, diberikan dosis yang meningkat.
6. Setelah pemberian ekstrak dilakukan pengamatan terhadap jumlah mortalitas dari setiap kelompok uji pada 2, 4, 24, 48, 72 jam, 7 hari, dan 14 hari.

7. Data yang diperoleh digambarkan pada kertas log-probit, kemudian tentukan nilai LD₅₀ nya.
8. Pengamatan terhadap bobot badan dilakukan pada mencit. Bobot badan mencit ditimbang setiap hari selama 14 hari.
9. Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel, selanjutnya dianalisis secara statistika. Untuk mengetahui pengaruh pemberian sediaan terhadap bobot badan mencit, analisis dilakukan menggunakan analisis Kruskal Wallis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Toksisitas Akut

Pengujian toksisitas akut merupakan uji pendahuluan mengenai tingkat keamanan suatu bahan uji, dalam penelitian ini adalah kombinasi ekstrak etanol kulit batang, kulit akar, dan biji buah kandis (*Garcinia cowa* Roxb.). Pengujian toksisitas ini dilakukan melalui pengamatan mortalitas dan berat badan mencit selama 14 hari setelah pemberian sediaan ekstrak uji.

3.1 Hasil Pengamatan Mortalitas

Hasil pengamatan mortalitas mencit jantan selama 14 hari setelah pemberian sediaan uji dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Persentase Mortalitas Kumulatif Mencit Jantan Selama 14 Hari Setelah Pemberian Sediaan Uji

Kelompok	Jumlah Mortalitas Kumulatif Mencit (%)						
	2 jam	4 jam	24 jam	48 jam	72 jam	7 hari	14 hari
Kontrol (PGA 2%)	0	0	0	0	0	0	0
Dosis I (8 g/kg BB)	0	0	20	20	20	20	20
Dosis II (12 g/kg BB)	0	0	20	20	20	20	20
Dosis III (16 g/kg BB)	0	0	60	60	60	60	60
Dosis IV (20 g/kg BB)	0	0	100	100	100	100	100

Tabel 3.1 menunjukkan persentase mortalitas mencit jantan setelah pemberian suspensi kombinasi ekstrak etanol kulit batang, kulit akar, dan biji buah kandis secara peroral dengan empat variasi dosis dan satu kelompok kontrol yang diberikan suspensi PGA 2%.

Pengamatan masing-masing mortalitas terlihat signifikan pada 24 jam setelah pemberian sediaan uji dan statis hingga hari terakhir pengamatan. Pada dosis terendah (8 g/kg BB), kematian mencit sebesar 20%. Begitu juga pada dosis 12 g/kg BB, mencit mengalami kematian sebesar 20%. Pada dosis 16 g/kg BB, mencit jantan mengalami peningkatan mortalitas menjadi sebesar 60%. Kemudian, mencit mengalami mortalitas 100% pada dosis tertinggi, yakni dosis 20 g/kg BB.

Hasil pengamatan mortalitas mencit betina dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.2 Persentase Mortalitas Kumulatif Mencit Betina Selama 14 Hari Setelah Pemberian Sediaan Uji

Kelompok	Jumlah Mortalitas Kumulatif Mencit (%)						
	2 jam	4 jam	24 jam	48 jam	72 jam	7 hari	14 hari
Kontrol (PGA 2%)	0	0	0	0	0	0	0
Dosis I (8 g/kg BB)	0	0	0	0	0	0	0
Dosis II (12 g/kg BB)	0	0	20	20	20	20	20
Dosis III (16 g/kg BB)	0	0	60	60	60	60	60
Dosis IV (20 g/kg BB)	0	0	100	100	100	100	100

Pola kematian mencit betina dengan mencit jantan hampir sama pada dosis II, III dan IV. Namun, pada dosis terendah (8 g/kg BB) mencit betina belum mengalami kematian. Kematian mencit betina baru terjadi pada dosis 12 g/kg BB, yakni sebesar 20%. Kemudian, pada dosis 16 g/kg BB kematian mencit sebesar 60% dan terus meningkat pada dosis tertinggi (20 g/kg BB) sebesar 100%. Adanya sedikit perbedaan pada pola kematian antara mencit jantan dan betina dapat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah daya tahan tubuh pada saat penelitian.

Dari data pengamatan dapat dibuat kurva log probit yang menggambarkan hubungan antara dosis dengan persentase kematian kumulatif. Peningkatan persentase mortalitas kumulatif mencit jantan dan betina selama 14 hari dapat terlihat dari kurva log probit . Adanya perbedaan persentase kematian pada mencit jantan dan betina dapat terjadi akibat adanya pengaruh perbedaan dalam jenis kelamin, di mana secara fisiologis mencit jantan memiliki berat badan, volume darah, dan luas jaringan tubuh yang lebih besar dibandingkan dengan mencit betina. serta adanya pengaruh faktor hormonal antara mencit jantan dan betina (Gossel and Bricker, 1990).

Respon kematian pada mencit jantan dan betina tidak jauh berbeda. Pada grafik log probit menunjukkan bahwa baik pada mencit jantan, maupun betina memiliki nilai LD₅₀ yang sama, yaitu 15 g/kg. Dosis 15 g/kg BB pada mencit ini sebanding dengan dosis 10,5 g/kg BB pada tikus. Menurut kriteria Hodge dan Sterner (Derelanko, 2008), hasil nilai LD₅₀

memiliki makna toksikologi bahwa potensi ketoksikan akut sediaan uji ekstrak etanol kulit batang kandis, buah dan akar termasuk dalam kategori praktis tidak toksik (5-15 g per kg berat badan).

3.3 Hasil Pengamatan Berat Badan

Pengamatan berat badan pada mencit jantan dan betina dilakukan selama 14 hari (data pengamatan berat badan mencit dapat dilihat pada Lampiran D). Hal ini dilakukan untuk melihat pengaruh pemberian suspensi kombinasi ekstrak etanol kulit batang, kulit akar, dan biji buah kandis terhadap perubahan berat badan yang terjadi selama 14 hari. Adapun perhitungan statistika data berat badan mencit dapat dilihat pada Lampiran E.

Berdasarkan analisis Kruskal Wallis, baik pada mencit jantan, maupun mencit betina, dengan tingkat kepercayaan sebesar 95% dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan antar perlakuan terhadap berat badan. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian suspensi ekstrak dengan variasi dosis tidak mempengaruhi perubahan berat badan pada mencit.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai LD_{50} ekstrak etanol kombinasi kulit batang, kulit akar, dan biji buah kandis yang dinyatakan dengan kumulatif mortalitas (kematian) pada mencit jantan dan betina adalah sebesar 15 g/kg BB yang sebanding dengan dosis 10,5 g/kg BB pada tikus. Berdasarkan kriteria toksisitas yang digolongkan oleh Hodge dan Sterner dapat disimpulkan bahwa ekstrak etanol kombinasi kulit batang, kulit akar, dan biji buah kandis, baik tikus jantan maupun betina berada pada rentang dosis kriteria praktis tidak toksik karena LD_{50} berada pada rentang dosis 5-15 g/kg BB pada tikus.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih Herbarium Bogoriensis Bogor yang telah mengidentifikasi sampel tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini. Terimakasih juga disampaikan kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan atas Dana Hibah Bersaing Tahun

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hidayat .2011. Prospek Obat Tradisional . Available at : *Http://www.Pantonanews.com/418- prospej-obat-tradisional* [diakses tanggal 5 januari 2012]
- [2] Mackeen, M.M., Ali, A.M., Lajis, N.H., Kawazu, K., Hassan, Z., Amran, M, Hasbah.2006. Anti- mor-Promoting and Cytotoxic Activities of Different Plant Part Extracts of *Garcinia*
- [3] Panthong, K, Pongcharoen, W., Phongpaichit, W., and Taylor, W.C. 2006. Tetraoxygenated Xanthones from The Fruit of *Garcinia cowa*. *Phytochemistry* **67**: 999 -10043.
- [4] Whitmore, T. C. 1973. Tree Flora of Malaya, A Manual for Foresters. Vol **2**. Longman Group Limited London.

**VERIFIKASI RESIDU PESTISIDA DAN PROFIL BAKTERI YANG
BERPOTENSI MENDEGRADASI PESTISIDA DI LAHAN PERTANIAN
JAGUNG KECAMATAN KURAU,
KABUPATEN TANAH LAUT**

Dwi Sandri, Fatimah, Jaka Darma Jaya

Politeknik Tanah Laut, Pelaihari Kalimantan Selatan

dwisandri@yahoo.com

ABSTRAK

Pestisida merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem pertanian di Indonesia, dimana penggunaan pestisida telah dilakukan sejak tahun 1965. Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan pada dekade terakhir mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam bidang pertanian dengan komoditas utama tanaman jagung (*Zea Mays*). Pesatnya perkembangan pertanian di Tanah Laut ini tidak terlepas dari penggunaan pupuk dan pestisida yang juga sangat besar. Hal ini bisa menyebabkan terjadinya akumulasi residu pestisida di lahan pertanian tersebut. Verifikasi kandungan pestisida di lahan pertanian serta terobosan untuk menghilangkannya dari lahan pertanian dengan cara mengisolasi bakteri indigenous yang mempunyai kemampuan mendegradasi pestisida. Analisis residu pestisida paraquat menggunakan metode Spektrofotometri UV-Vis dan isolasi bakteri yang diikuti karakterisasi sebatas morfologi koloni dan sel tunggal, serta pewarnaan Gram. Lahan pertanian jagung di kabupaten Tanah Laut mengandung residu pestisida paraquat dengan konsentrasi pada masing-masing lahan di Kecamatan Kurau sebesar 0,356; 0,236; dan 0,088 mg/Kg tanah. Isolat bakteri yang ditumbuhkan pada medium MS+paraquat_{0,5} diperoleh sebanyak 1 isolat dan pada medium Nutrien Agar sebanyak 3 isolat.

Kata Kunci : biodegradasi, paraquat, residu pestisida, bakteri

1 PENDAHULUAN

Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan pada dekade terakhir mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam bidang pertanian, dengan komoditas unggulan berupa tanaman jagung (*Zea mays*) yang produksi mencapai 84.017 ton per tahun [3]. Pesatnya perkembangan pertanian di Tanah Laut ini tidak terlepas dari penggunaan pupuk dan pestisida yang juga sangat besar. Hal ini bisa menyebabkan terjadinya akumulasi residu pestisida di lahan pertanian tersebut. Akan tetapi sampai saat ini masih belum ada upaya untuk mengetahui seberapa besar residu pestisida yang masih terkandung di lahan pertanian yang pada akhirnya berpotensi untuk masuk dalam rantai makanan maupun terserap oleh tanaman [1][10].

Paraquat (1,1-dimetil,4,4-bipiridilium) merupakan bahan aktif herbisida pada merk dagang Gramoxone, yang banyak digunakan di lahan pertanian. Paraquat diklasifikasikan sebagai herbisida golongan piridin yang non selektif dan digunakan untuk membunuh gulma yang diaplikasikan pra-tumbuh [Humburg, *et.al.*, 1989; Muktamar, *et al*, 2004 dalam 8]

Dalam pencapaian standarisasi mutu prima komoditas pertanian, aspek keamanan pangan ini menjadi salah satu titik tekan yang sangat penting. Oleh karena itu perlu dilakukan verifikasi kandungan pestisida di lahan pertanian serta terobosan untuk menghilangkannya dari lahan pertanian dengan cara mengisolasi bakteri indigenous yang mempunyai kemampuan mendegradasi pestisida.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Bahan kimia yang digunakan pada penelitian ini adalah Paraquat diklorida 297 g/L (merk Noxone), Natrium Dithionite, NaOH, metanol, media Nutrient Agar (OXOID), media Nutrient Broth (OXOID), Mineral salt medium Modifikasi [11] yang terdiri dari 0.20 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.25 g NH_4NO_3 , 0.675 g K_2HPO_4 , 0.10 g $Ca(NO_3)_2$ dan 0.01% Pepton (per 1 liter air destilasi), dan Akuades.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Spektrofotometer UV-Vis, mikroskop, shaker, autoklaf, centrifuge, neraca analitik, dan peralatan gelas standar.

2.2 Prosedur Penelitian

Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari 3 (tiga) lahan pertanian jagung yang berada di Kecamatan Kurau Kabupaten Tanah Laut. Pada lahan tersebut dilakukan pengambilan 3-4 titik pengambilan. Pengambilan sampel dilakukan pada tanah lapisan atas (15 cm). Sampel tanah dari masing-masing lahan dikumpulkan dan dicampur hingga homogen sebelum digunakan dalam pengujian residu pestisida dan isolasi bakteri.

Pengumpulan data pendukung

Beberapa data pendukung yang dianggap berkaitan dengan profile residu pestisida pada masing-masing lahan dikumpulkan baik dari observasi dan wawancara di lapangan,

maupun dari data statistik Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Perkebunan Kab. Tanah Laut.

Ekstraksi Paraquat dari Sampel Tanah

Sebanyak 50 gram sampel tanah yang diambil pada beberapa lahan masing-masing ditambahkan dengan 150 mL akuades dan 150 mL metanol kemudian di gojok dengan shaker dengan kecepatan 150 rpm selama 4 jam, selanjutnya sampel tanah disaring dan filtrat diuapkan sampai volume sekitar 30 mL. Selanjutnya filtrat dipreparasi untuk pengukuran konsentrasi paraquat pada sampel tanah secara spektrofotometri UV-Vis. Hasil pengukuran konsentrasi yang lebih besar kelarutannya dijadikan pelarut untuk mengekstraksi paraquat pada sampel tanah lainnya.

Penentuan Konsentrasi Paraquat Secara Spektrofotometri

Sebanyak 0,5 mL sampel cair dari tanah yang sudah dipreparasi ditambahkan dengan 1 mL natrium ditionit 1% (pelarut natrium hidroksida 0,1 N), selanjutnya diencerkan dengan akuades sampai 10 mL, kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum ($\lambda=345$ nm). Hasil yang didapatkan diplotkan pada kurva baku yang telah diperoleh.

Isolasi Bakteri pendegradasi pestisida

Media yang digunakan untuk seleksi dan uji adalah MS Medium (Mineral salt dan ditambahkan dengan pestisida paraquat dengan konsentrasi 0,5 ppm (MS+Paraquat_{0,5}), pH medium 7.0 dan disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit.

Pestisida paraquat dibuat stok dalam larutan aquadest dengan konsentrasi $2,5 \times 10^3$ mg/l (ppm). Media starter untuk kultur (MS+Paraquat_{0,5}) disiapkan dengan penambahan 0,02 ml larutan stok pestisida paraquat ke dalam 100 ml larutan MS medium untuk memperoleh konsentrasi akhir 0,5 ppm.

Isolasi dilakukan dengan dua media yang berbeda, yaitu MS+Paraquat_{0,5} medium dan Nutrient medium (Nutrient Broth dan Nutrient Agar – OXOID). Hal ini dilakukan untuk membandingkan hasil isolasi yang akan didapat.

Sampel tanah dari lahan yang memiliki residu pestisida yang tertinggi disiapkan. Kemudian dimasukan kedalam media MS dan Nutrient Broth yang telah disiapkan masing-masing 10 gram, kemudian di shaking selama 24 jam dengan kecepatan 150 rpm. Isolasi

dilakukan dengan menggunakan metode *pour plate*, dimana 1 ml kultur di encerkan dengan pengenceran bertingkat ($10^{-1} - 10^{-2}$) pada aquadest steril, yang kemudian diinokulasikan pada cawan petri dan diberi media MS+Paraquat_{0,5} agar dan Nutrient Agar dan diinkubasi pada suhu ruang selama 24 sampai 36 jam.

Karakterisasi Isolat Bakteri

Isolat yang telah didapat dari hasil isolasi, kemudian dikarakterisasi. Karakterisasi yang dilakukan baru sebatas morfologi koloni dan sel tunggal, serta pewarnaan Gram.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik tanah sangat berpengaruh pada degradasi pestisida di suatu lahan. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diklasifikasikan ke dalam 3 (tiga) : tanah humus, tanah berpasir dan lempung (Tabel 1). Tanah berhumus dengan kandungan bahan organik yang tinggi dilaporkan mengandung aktivitas mikroba pendegradasi yang lebih tinggi dibandingkan jenis tanah lain [5].

Tabel 1 Data lahan pertanian jagung di kecamatan Kurau kabupaten Tanah Laut

Lokasi	Pemilik Lahan	Aktivitas Pertanian (tahun)		Jenis tanaman sebelum Jagung	Jenis Tanah	Jenis pestisida yang digunakan	Frekuensi pemberian pestisida	Ket.
		Jagung	Lain-lain					
Tambak Karya	Joko	2	½	Lombok	Berpasir	Noxone	2x/tahun (6-8 L/Ha)	datar
Srikandi 1	Siddiq	1	½	Kacang	Humus	Noxone	2x/tahun (6-8 L/Ha)	miring
Srikandi 2	Hasan	1	½	Bayam, tomat kacang	Humus	Tidak diketahui	2x/tahun (6-8 L/Ha)	datar

Tanah berpasir memiliki rongga yang besar untuk bisa meloloskan residu pestisida ke lapisan tanah bagian bawah. Aktivitas mikroba pendegradasi pada tanah ini juga tergolong rendah karena bahan organik yang terkandung di dalamnya juga sedikit [5]. Berbeda dengan kedua jenis tanah di atas, lempung merupakan tanah dengan densitas yang tinggi dan mengandung mineral besi dan aluminium yang tinggi. Aktivitas mikroba pendegradasi pada tanah ini juga tidak besar.

Pengukuran Kuantitatif Paraquat menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

Penentuan panjang gelombang maksimum bertujuan agar pengukuran setiap satuan konsentrasi diperoleh kepekaan analisis yang maksimal. Pengukuran paraquat tidak dapat dilakukan secara langsung pada sampel tanah, karena banyak senyawa yang dapat mengganggu pengukuran. Kesulitan ini dapat diatasi dengan menggunakan reduktor natrium ditionit yang mempunyai serapan maksimum 300 nm.

Besarnya energi radiasi yang diserap maksimum paraquat hasil reduksi adalah pada panjang gelombang 345 nm. Penambahan natrium ditionit menyebabkan warna paraquat hasil reduksi menjadi hijau kebiruan. Pergeseran panjang gelombang yang terjadi merupakan pergeseran batokromik, yaitu pergeseran serapan ke arah panjang gelombang yang lebih panjang.

Panjang gelombang maksimum paraquat tereduksi diperoleh pada panjang gelombang 345 nm. Panjang gelombang ini digunakan dalam pembuatan kurva baku. Kurva baku dibuat pada rentang konsentrasi paraquat 0; 0,5; 1; 2; 3; 4; dan 5 ppm. Persamaan kurva baku paraquat diperoleh $Y = 0.027 X$, dimana Y merupakan absorbansi hasil pengukuran dan X merupakan konsentrasi paraquat.

Tahap awal untuk menentukan pelarut yang cocok untuk mengekstraksi paraquat pada sampel tanah digunakan pelarut akuades dan methanol pada beberapa sampel. Pelarut akuades lebih besar kelarutannya dibandingkan pelarut metanol, maka digunakanlah pelarut akuades untuk mengekstraksi paraquat pada sampel tanah.

Semua sampel tanah pada lahan jagung di kecamatan kurau terdapat residu pestisida dengan bahan kimia utama paraquat walaupun terdapat dalam jumlah kecil. Pengurangan residu paraquat pada lahan jagung dapat terjadi oleh larutnya paraquat bersama air yang ada di lahan jagung atau terjadi migrasi paraquat. Paraquat juga dapat mengalami degradasi oleh cahaya sinar matahari secara langsung, dimana terjadi pemutusan ikatan dalam molekul organik [16]. Selain itu dapat juga aktivitas mikroorganisme pendegradasi pestisida yang ada pada lahan tersebut.

Tabel 2 Konsentrasi residu paraquat di lahan jagung kecamatan kurau kab. Tanah Laut

No	Lahan	[paraquat] ± Sd (mg/Kg)
1	Joko	0,356 ± 0,0252
2	Siddiq	0,236 ± 0,0226
3	Hasan	0,088 ± 0,0853

Hasil verifikasi kandungan paraquat pada lahan pertanian jagung bahwa semua lahan yang diketahui menggunakan pestisida didapatkan paraquat dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Berdasarkan data penggunaan pestisida pada lahan pertanian menggunakan jenis herbisida dengan merk dagang Noxone dan Gramoxone. Jenis herbisida ini kandungan bahan utamanya adalah paraquat, dimana Noxone pekat yang masih dalam kemasan mengandung paraquat diklorida 297 g/L atau setara dengan ion paraquat sebesar 215 g/L. Sedangkan Gramoxone pekat yang masih dalam kemasan mengandung paraquat diklorida 276 g/L atau setara dengan ion paraquat sebesar 200 g/L.

Hasil verifikasi residu paraquat semua lahan jagung di kecamatan kurau yang didapatkan (Tabel 2) yaitu berkisar antara 0.088, 0,236 sampai 0.356 mg/Kg, dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia [13], dimana Batas Maksimum Residu (BMR) komoditas tanaman jagung yaitu maksimal 0.05 mg/Kg. Ini berarti, residu paraquat di lahan pertanian jagung kabupaten Tanah laut melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Pada penelitian ini tidak dilakukan analisis residu pada tanaman jagung, tapi data yang didapatkan mengindikasikan kemungkinan terjadinya migrasi residu paraquat ke tanaman jagung.

Isolasi dan karakterisasi bakteri pendegradasi pestisida

Dari hasil isolasi yang didapat (Tebel 3), bakteri yang diindikasikan mampu mendegradasi pestisida tidak banyak didapat, yaitu hanya 1 isolat yang mampu tumbuh pada media MS+Paraquat_{0,5}. Digunakan konsentrasi Paraquat 0,5 ppm pada tahap ini karena berdasarkan data hasil verifikasi residu pestisida yang telah dilakukan sebelumnya, dimana 0,5 ppm ini merupakan nilai tengah yang diindikasikan bakteri mampu bertahan hidup. Hal ini terbukti hanya ada 1 isolat yang mampu tumbuh pada kondisi ini. Hal yang berbeda terlihat pada hasil isolasi pada medium Nutrient Agar, dimana didapatkan 3 isolat.

Tabel 3 Morfologi koloni dan sel tunggal bakteri yang diisolasi dari tanah tercemar pestisida

Medium	Lokasi	Kode Isolat	Koloni				Sel Tunggal	
			Warna	Bentuk	Tepi	Elevasi	Bentuk	Gram
NA	2	SP1L2K	Kuning	Pinpoint	Ontire	Raised	Basil	+
		SP2L2K	Putih	Pinpoint	Ontire	Raised	Kokus	+
		SP3L2K	Pink	Pinpoint	Ontire	Raised	Basil	+
MS+Paraquat _{0,5}		SP1L2M	Putih	Pinpoint	Ontire	Raised	Kokus	+

Penggunaan pestisida sekarang sangat umum digunakan pada lahan pertanian dan sering ditujukan untuk meningkatkan hasil panen dengan mengurangi atau menghilangkan rumput pengganggu, serangga, atau hama lainnya, serta mengurangi biaya operasional [6][9][15]. Oleh sebab itu, pestisida yang diaplikasikan ke lahan sekarang kurang tepat sasaran, dimana dapat berdampak pada organisme non-target lainnya [2][7][4]. Untuk mengurangi dampak tersebut salah satu caranya yaitu dengan memanfaatkan keberadaan mikroorganisme pada lahan pertanian tersebut yang mampu mengubah senyawa berbahaya menjadi tidak berbahaya. Bakteri mempunyai beberapa mekanisme untuk dapat toleran atau resisten terhadap senyawa toksik yaitu menghilangkan senyawa toksik tersebut dari dalam selnya [12], atau dengan menghasilkan enzim pendegradasi senyawa [14].

4 KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Lahan pertanian jagung di kecamatan Kurau mengandung residu pestisida paraquat dengan konsentrasi 0.088; 0,236 sampai 0.356 mg/Kg tanah. Pada lahan tersebut terdapat 1 (SP1L2M) bakteri yang diindikasikan berpotensi mendegradasi paraquat.

5 UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didukung dan didanai oleh Direktorat Perguruan Tinggi melalui Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat pada Penelitian hibah bersaing tahun 2012.

Pustaka

- [1] Aislabie, J. M. and Jones, G. L. 1995. A review of bacterial degradation of pesticides. Australia J. Soil Res. 33: 925-942.
- [2] Clarkson, D., P.B. Bull and D.J. Moles, 1982. Effect of two granular nematicides on growth and nodulation of *Arachis hypogeo* L. Plant Soil, 66: 413-416. DOI: 10.1007/BF02183808.
- [3] Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Perkebunan.2009. Data Realisasi tanam, rusak, produksi dan produktivitas tanaman pangan per kecamatan tahun 2008 Kabupaten Tanah laut. Pelaihari, Kalimantan Selatan.
- [4] Downing, H.F., M.E. Delorenzo, M.H. Fulton, G.I. Scott and C.J. Madden *et al.*, 2004. Effects of agricultural pesticides Atrazine, Chlorothalonil and Endosulfan on South Florida microbial assemblages. Ecotoxicology, 13: 245-260. DOI: 10.1023/B:ECTX.0000023569.46544.9f.
- [5] Gaultier, J., Farenhorst, A., Cathcart, J. and Goddard, T. 2007. Degradation of [carboxyl-¹⁴C] 2,4-D and [ring-U-¹⁴C] 2,4-D in 114 agricultural soils as affected by soil organik carbon content. Soil Biol. Biochem. 40: 217-227.
- [6] Hofman, T.W. and G.J. Bollen, 1987. Effects of granular nematicides on growth and microbial antagonism to *Rhizoctona solani*. Eur. J. Plant Pathol., 93: 201-214. DOI: 10.1007/BF01998248
- [7] Gianessi, L.P. and S. Sankula, 2003. The value of herbicides in US crop production. National Center for Food and Agricultural Policy.
<http://croplifefoundation.org/Documents/Pesticide%20Benefits/Herbicides/HerbBeniFullText.pdf>
- [8] Khoiroh, LM., 2008. Skripsi : Efektifitas Koagulasi Ion Paraquat (1,1-Dimetil,4,4-Bipiridilium) Menggunakan Biji Kelor (*Moringa Oleifera* Lamk). Malang.
- [9] Moens, T., M. Araya, R. Swennen and D. Waele, 2004. Enhanced biodegradation of nematicides after repetitive applications and its effect on root and yield parameters in commercial banana plantations. Biol. Fertil. Soils, 39: 407-414. DOI: 10.1007/S00374-004-0726-6

- [10] Morisawa, S., Kato, A., Yoneda, M. and Shimada, Y. 2002. The dynamic performances of DDTs in the environment and Japanese exposure to them: A historical perspective after the ban. *Risk Anal.* 22: 254-263.
- [11] Nadeau, L. J., Menn, F. M., Breen, A. and Sayler, G. S. 1994. Aerobic degradation of 1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane (DDT) by *Alcaligenes eutrophus* A5. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 51-55.
- [12] Silver, S. and L.T. Phung, 1996. Bacterial heavy metal resistance: New surprises. *Ann. Rev. Microbiol.*, 50: 753-789. DOI: 10.1146/annurev.micro.50.1.753.
- [13] Standar Nasional Indonesia (SNI) 7313:2008. Batas Maksimum Residu Pestisida pada Hasil Pertanian.
- [14] Talaro, K.P., 2008. *Foundations in Microbiology, Basic Principles 7th Edn.*, McGraw-Hill, New York, ISBN: 13: 978-0077263164, pp: 534.
- [15] Taylor, A.L, 2003. Nematocides and nematicides-a history. *Nematropica*, 33: 225-232. http://brokert10.fcla.edu/DLData/NM/NM00000009/NM00995444/33_2/Taylor225.pdf
- [16] Wogo, HE., Ledoh, SMF. 2011. Pengaruh Sinar Matahari terhadap Kinetika Degradasi Paraquat dalam Lingkungan Tanah Pertanian Desa Oesao. *Sains dan Terapan Kimia*, Vol.5, No. 2 (Juli 2011), 167-179.

**FILOSOFI ZAT DAN MATERI MENURUT JABIR BIN HAYYAN
(ASPEK KIMIAWI DARI STUDI FILOSOFIS TERHADAP NASKAH *MUKHTÂR
RASÂ'IL*)**

EDY CHANDRA
IAIN Syekh Nurjati Cirebon e.chandra@me.com

ABSTRAKS

This study used qualitative research method includes a study of literature, analysis descriptive method, historical and philosophical approach by considering substantial and functional relation between information and opinion from Jabir Ibn Hayyan's manuscripts, 'Mukhtâr Rasâ'il vol. 1 (collected by Paul Kraus, 1935). Even though he was influenced by mysticism, Jabir categorized as a pioneer of modern chemistry knowledge with empirical principle and scientific method base on experiment, contrary to the development was inclined of speculative rational at the time, mixing with Greek mysticism. His concept of atom is more advanced than Democritus atomism, parallel to Dalton's atomic theory. His concept of Mizan mixing mysticism influence and cosmology, compounding quantitative and qualitative aspects of chemistry processes. Jabir used chemistry technique such as distillation, evaporation, sublimation, filtration, metal mixture, calcinations and so on.

1 PENDAHULUAN

Filsafat pendidikan Kimia, belum mendapatkan perhatian yang memadai di kalangan para ilmuwan dan peneliti pendidikan. Tidaklah mengherankan bila Scerri (2003: 468)ⁱ mensinyalir adanya kecanggungan filosofis dalam penelitian pendidikan kimia. Kondisi ini seperti ini dapat dimengerti terjadi karena perkembangan filsafat pendidikan yang relatif baru. Apatah lagi, dalam perkembangan filsafat sains modern, filsafat kimia juga seringkali diabaikan dari literatur filsafat sains.ⁱⁱ

Problem filosofis bagi pendidikan kimia seperti di atas, menambah tantangan baru bagi Perguruan Tinggi Agama Islam Negeri (PTAIN) semisal Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah Jakarta. Setelah secara resmi bertransformasi dari Institut Agama Islam Negeri dan Sekolah Tinggi Agama Islam Negeri, beberapa kampus semisal UIN Syarif Hidayatullah Jakarta yang memiliki fakultas Sains dan Teknologi serta jurusan pendidikan sains, mendapatkan tantangan baru bagaimana menyelaraskan landasan filosofis bagi fakultas dan jurusan yang berkaitan dengan sains (termasuk kimia). Tantangan baru ini dapat dianggap sebagai kelanjutan dari masalah dualisme pendidikan dan dikhotomi ilmu (ilmu agama dan ilmu umum) yang telah berlangsung selama ini. PTAIN ditantang untuk mampu

mengintegrasikan ilmu-ilmu agama Islam dan sains modern dalam tataran filosofis maupun praktis..

Berdasarkan penelusuran dan analisis penulis, Jabir bin Hayyan banyak menggambarkan konsep-konsep kimiawi dalam berbagai tulisannya. Meskipun *Mukhtâr Rasâ'il* berisi banyak sekali pembahasan yang mencakup banyak hal, baik itu filsafat, logika, teologi, dan lain sebagainya, pembahasan tentang konsep-konsep kimiawi dapat ditemukan secara jelas dalam karya-karyanya. Sesuai dengan pengertian Kimia sebagai sebuah disiplin ilmu yang mempelajari tentang materi, sifatnya, strukturnya, perubahan/reaksinya serta energi yang menyertai perubahan tersebut, pembahasan-pembahasan tentang materi dan strukturnya, serta perubahan-perubahan kimia, dapat ditemukan dalam tulisan Jabir bin Hayyan. Setidaknya terdapat empat konsep fundamental dalam ilmu kimia, yang sekaligus menjadi tonggak utama sejarah perkembangan kimia. Pembahasan dan telaah terhadap pemikiran dan sejarah kimia senantiasa tidak terlepas dari keempat konsep tersebut, yaitu zat murni (*pure substance*); unsur dan senyawa (*unsure & compound*); molekul, atom dan partikel atom (*molecule, atom & subatomic particle*); serta energi (*energy*).ⁱⁱⁱ

Sejak masa filsafat alam klasik Yunani dan alkhemi sampai dengan perkembangan kimia modern abad ke-19, gagasan tentang materi, dengan lingkup unsur, senyawa, dan transformasinya, telah menjadi isu sentral dan isu ini telah dijadikan landasan bagi sistem filsafat dan sekaligus menjadi target refleksi kritisnya.^{iv}

Studi ini mengacu pada **model penelitian historis faktual**, sebagaimana diajukan oleh A. Bakker dan Ahmad Charis Zubair (2004), menggunakan metode penelitian kualitatif berupa kajian kepustakaan (*library research*). Obyek telaah utama dalam penelitian ini adalah *Mukhtâr Rasâ'il vol. 1* edisi berbahasa Arab yang diterbitkan oleh Maktabah Al-Khandji Kairo, Mesir tahun 1935/ 1354 H. Metode pembahasan yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah metode **deskriptif analitis**, yakni memaparkan informasi-informasi yang berkaitan dengan aspek religiusitas dalam pandangan-pandangan Jabir bin Hayyan yang berkaitan zat dan materi, maupun konsep-konsep kimia lain yang berkaitan konsep zat dan materi tersebut.

2 PEMBAHASAN

Berkaitan dengan filsafat kimia, Jabir bin Hayyan pernah mengungkapkan pentingnya memahami hubungan antara falsafah dan ilmu mizan (baca: ilmu kimia). Jabir

menyatakan bahwa kaidah filsafat atau sebagian kaidahnya merupakan bagian dari kaidah-kaidah keseimbangan, sebagaimana dinukilkan sebagai berikut:

.... كنا محتاجين الى القول فى القواعد المحتاج اليها فى علم الميزان و فى علم الفلسفة, فإن قواعد الفلسفة هي قواعد الميزان او بعض قواعدها قواعد الميزان. فإن مقدمون قواعد الفلسفة و ذاكرون ما يخص الميزان من بعد ليكون ذلك كالمقدمة لما يتلوه,^v

Pada kutipan di atas, tampaknya dapat dipahami bahwa di masa Jabir bin Hayyan, berbagai cabang ilmu pengetahuan relatif belum banyak berkembang dan masih banyak berhubungan dengan pemikiran filsafat. Jabir terlihat memberikan penekanan pada pentingnya memahami filsafat sebagai landasan awal untuk memahami berbagai fenomena kimiawi, dalam hal ini konsep mizan. Karenanya, menjadi sebuah tanda tanya, bila kemudian justru filsafat kimia relatif tertinggal perkembangannya dibanding fisika dan biologi.

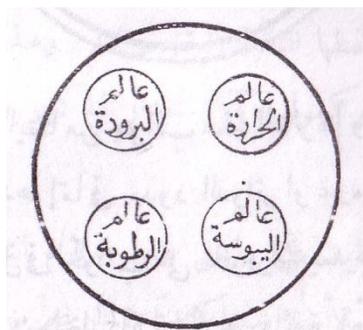
a. Materi dan Zat Murni

Jabir bin Hayyan banyak membahas tentang materi dan zat, dan bahasan ini tersebar pada berbagai tulisannya. Dalam khazanah kimia modern, materi dapat diartikan sebagai segala sesuatu yang mempunyai massa, dan menempati ruang.^{vi} Makhluk hidup dan yang tidak hidup terdiri atas materi, baik itu manusia, tumbuh tumbuhan, hewan, air, batu, kayu, garam dan benda benda apa saja di sekitar kita termasuk materi. Banyak bahan kimia yang disebutkan oleh Jabir, diantaranya, زئبق (merkuri/air raksa), نحاس (tembaga), كبريت (sulfur/belerang), رصاص (timah), ملح (garam), فضة (perak), ذهب (emas), دهن (lemak), حامض (asam), اسرب (timbal), حديد (besi), زيت (minyak), dan lain sebagainya.

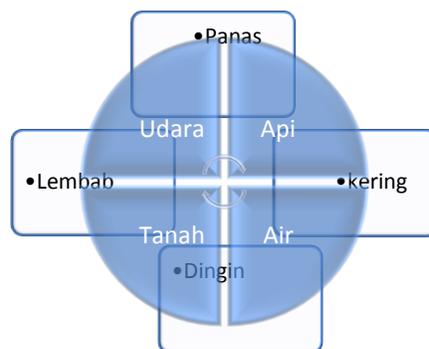
Jabir bin Hayyan membagi segala sesuatu menjadi 2 bagian yaitu: Zat yang sederhana (*Basithah*) dan Zat kompleks (*Murakkabah*). Jabir juga menyatakan definisi *Basithah*, dinyatakan bahwa *Basithah* tidak dapat dibuat dari reaksi kimia; sedangkan *Murakkabah* didefinisikan sebagai dapat dibuat dari zat lainnya melalui suatu proses kimia.^{vii} Tampaknya, dari pengertian bahwa *Basithah* tidak mungkin mengeluarkan zatnya ataupun bagian-bagiannya, dimaksudkan sebagai zat yang sederhana ataupun zat murni.^{viii} Dalam khazanah kimia modern zat tunggal adalah materi yang seluruh bagiannya mempunyai sifat dan susunan sama. Setiap zat murni mempunyai sifat-sifat khusus yang membedakannya dari zat murni lainnya. Karenanya, zat murni dapat dikenali berdasarkan penampilannya, baunya, rasanya, warnanya, dan berbagai sifat lainnya. Contohnya, tembaga,

garam dapur, soda kue, air, besi, oksigen, dan lain sebagainya. Beberapa zat murni dapat dibentuk dari beberapa zat lain tetapi sifat-sifat zat penyusunnya itu tidak nampak. Sebagai contoh, air murni dapat dibentuk dari gas oksigen dan gas hidrogen, tapi sifat mudah meledak dari gas hidrogen tak nampak pada air murni.

Dalam hal ini terdapat sedikit kerancuan ketika *murakkabah* diterjemahkan sebagai senyawa, karena dalam pengertian kimia modern, senyawa merupakan bagian dari zat tunggal, di samping unsur. Dalam pengertian kimia modern, zat murni dibedakan menjadi unsur dan senyawa. Unsur adalah zat yang paling sederhana yang tidak diuraikan lagi menjadi zat lain yang lebih sederhana. Misalnya, tembaga, besi, emas, dan lain sebagainya, yang masing-masing memiliki sifat yang khas. Sedangkan senyawa adalah zat hasil persenyawaan dua unsur atau lebih, yang masih dapat diuraikan lagi menjadi unsur-unsur penyusunnya melalui reaksi kimia.^{ix} Misalnya, air (tersusun dari hidrogen dan oksigen), garam dapur (tersusun dari natrium dan klor), soda kue (tersusun dari natrium, karbon, hidrogen dan oksigen), gula tebu (sukrosa) dan alkohol.



Gambar 5. 4 Dasar sifat materi
Sumber: Jabir (1935)



Dalam pandangan Jabir, senyawa dan materi itu terdiri unsur-unsur api, udara, tanah dan air. Masing-masing unsur tersebut memiliki 4 macam sifat, panas, kering, dingin, lembab, yang mencakup tiga jenis benda, yaitu tumbuhan, hewan dan batu.^x Pernyataan tentang unsur-unsur dan sifat-sifat unsur yang empat tersebut banyak dibahas dan ditekankan berulang-ulang oleh Jabir. Pada kebanyakan bab yang terdapat pada *Mukhtar Rasa`il*, niscaya ditemukan pembahasan yang menyinggung tentang keempat unsur ataupun ke-empat sifat tersebut. Pandangan ini sesungguhnya bukanlah hal yang baru, karena telah dikemukakan sebelumnya oleh para filosof Yunani. Jabir seringkali mempertukarkan

penggunaan istilah العنصور dan الجوهر dalam tulisannya. Tampaknya, hal ini mempertegas pandangan Jabir bahwa unsur-unsur juga memiliki dimensi ruh, sebagaimana manusia memiliki ruh.

فإذا استطعنا أن نسيطر على روح هذا العنصر، ثم القينا شيئاً منه (الروح وهي مذكر) على مادة ما، انقلبت تلك المادة فكانت مثل العنصر الذي القينا فيه شيئاً من روحه

Pemahaman adanya ruh ini meskipun sulit dibuktikan secara eksperimental dapat bertahan beberapa abad lamanya, dan tampaknya mendapatkan pembenaran dengan dikemukakannya teori phlogiston oleh George Erns Stahl (1660-1734).^{xi}

Sifat yang empat yang digunakan Jabir untuk menjelaskan alam mineral, juga merupakan dasar bagi kosmologi-nya yang luas; bersama dengan keseimbangan dan harmoni angka-angka simbolis, sifat-sifat dan prinsip-prinsip tersebut dapat dianggap sebagai prinsip-prinsip semua sains Jabiriyah. Alkhemi Jabiriyah sendiri adalah pembuatan keseimbangan antara sifat dan tabiat yang empat dengan bantuan eliksir yang melambangkan kehadiran dasar spiritual yang memungkinkan adanya harmoni sifat-sifat unsur.

Empat asas yang beroperasi pada benda-benda yang termasuk dalam tiga alam, yang mempengaruhi dan menentukan ronanya ialah : api, air, udara dan tanah. Tidak ada peristiwa dalam tiga alam itu yang tidak ditimbulkan oleh elemen-elemen ini. Oleh sebab itu dalam seni [alkhemi] ini kita mengandalkan operasi yang dilakukan [atas keempat elemen itu], menguatkan elemen yang terlalu lemah atau melemahkan yang terlalu kuat – ringkasnya memperbaiki yang kurang. Oleh sebab itu, siapa yang berhasil memanipulasi elemen dalam ketiga alam akan berhasil pula dengan tindakan itu mendapatkan pengetahuan tentang semua hal dan memahami sains penciptaan dan seni Alam. Jangan anda dipersulit oleh keraguan, karena sifat tiap eliksir diturunkan dari elemen-elemen. Dengan bantuan eliksirlah kita berikan satu sifat yang menyingkirkan sifat merusak yang ada pada suatu benda. Jadi ke dalam sesuatu yang punya kelebihan sifat air dimasukkan api dan digunakan hingga derajat yang diperlukan, tapi tanpa membiarkan benda itu dimakan oleh api tadi – yang akan menambah rusaknya. Secara begini benda yang dikerjakan dengan api itu mencapai keseimbangan dan sampai pada keadaan yang diinginkan.^{xii}

Jabir bin Hayyan membagi bahan-bahan mineral ke dalam tiga kelompok, masing-masing dengan beberapa tabiat khusus, berdasarkan kelebihan salah satu sifat itu, yaitu : 1) bahan “spiritus” yang sepenuhnya dapat menguap, yang terdiri dari sulfur, arsenikum, air raksa, amoniak dan kamfer; 2) “benda logam” yang dapat ditempa, berkilat, menghasilkan suara dan tidak “bisu” seperti “spiritus” dan “benda”; yang terdiri dari ; 3) “benda” [bahan mineral] yang tak dapat ditempa tapi dapat diserbukkan.

Tak diragukan lagi, klasifikasi mineral menurut Jabir tersebut menunjuk kepada bahan yang punya arti nyata dalam hal aspek fisik benda. Tapi kunci untuk memahami fenomena ini harus dicari bukan dalam hubungan aspek fisiknya, tapi dari segi keseimbangan sifat dan ada pada harmoni antara aspek batin dan lahir bahan-bahan. Jadi Jabir, seperti ahli alkhemi lainnya, menggunakan suatu bahasa, yang berlaku untuk alam psikis maupun fisik. Bahkan dalam memandang bahan dari segi fisiknya, ia memperlakukan bahan itu sedemikian rupa sehingga terjalin hubungan yang ada antara keadaan psikis dan fisiknya.^{xiii}

Adapun tentang campuran, yang dalam pengertian ilmu kimia adalah campuran heterogen dari beberapa zat, yang dapat dipisahkan kembali dengan cara fisika biasa, Jabir bin Hayyan menyebutkan beberapa contoh campuran, antara lain campuran air dengan minyak, dan pelilinan dengan minyak.^{xiv}

Teori empat unsur utama Jabir bin Hayyan yang mengadopsi pemikiran Yunani, sesungguhnya tidak dapat diterima dalam khazanah ilmu kimia modern, karena pada dasarnya terbukti kemudian bahwa air, udara, dan tanah dapat dipisahkan lagi menjadi unsur-unsur penyusunnya. Namun, teori empat unsur utama yang terdiri atas air, api, tanah, dan udara ini dapat bertahan berabad-abad lamanya, sampai kemudian Robert Boyle dan Antoine Laurent Lavoisier (1774) meruntuhkannya, dan menandai dimulainya kimia modern sepenuhnya pada jalur eksperimen yang konsisten.^{xv}

Sementara itu, pandangan Jabir yang menyatakan bahwa unsur-unsur juga memiliki dimensi ruh, meskipun sulit dibuktikan secara eksperimental, nampaknya dalam perkembangan sains kontemporer sekarang, akan kembali ditelaah secara falsafi. Sebagaimana dalam bidang fisika dan biologi, arus filsafat sains kemudian menunjukkan adanya arus balik untuk memasukkan dimensi immateri yang selama ini dipisahkan dari sains. Secara berseri, misalnya, Capra menulis *The Turning Point*, *The Web of Life*, dan *The Tao of Physics* untuk meyakinkan pentingnya memasukkan kembali aspek immateri dalam filsafat sains dalam bentuk paradigma holistik.

b. Molekul, Atom dan Partikel-partikel Atom

Atom adalah satuan materi yang amat kecil yang terdiri atas inti atom yang bermuatan positif, yang biasanya mengandung proton dan neutron, dan beberapa elektron di sekitarnya yang mengimbangi muatan positif inti. **Teori atom** dalam ilmu kimia dan fisika adalah teori mengenai sifat benda. Teori ini menyebutkan bahwa semua benda terbentuk dari atom-atom.

Dasar filsafat untuk teori ini disebut **atomisme**. Teori ini dapat diterapkan pada semua fase umum benda seperti yang ditemukan di bumi, yaitu padat, cair, dan gas. Teori tentang atom telah dikemukakan sejak masa filosof Yunani, seperti Leukipos dan Demokritus.^{xvi}

Jabir bin Hayyan banyak membahas hal-hal yang dapat dikaitkan dengan atom dan unsur dalam tulisan-tulisannya. Di samping membahas tentang 4 unsur utama dan 4 sifat utama materi, Jabir juga menyinggung tentang atom. Misalnya, menurut Jabir, Segala sesuatu ada yang bersifat Qadim, dan ada juga yang bersifat Baru. Baik yang Qadim maupun yang Baru ada yang dapat dilihat dan ada pula yang tidak dapat dilihat. Yang terlihat maupun yang tidak terlihat terdiri dari Zat murni dan Senyawa yang lebih kompleks. Bagian-bagian dari senyawa yang lebih kompleks tidak sama dengan senyawa itu sendiri dan tidak dapat dibandingkan dengannya. Adapun bagian-bagian dari zat murni identik dengan zat murni itu sendiri dan dapat disejajarkan dengannya. Tidak dapat diterima oleh akal adanya bagian-bagian besar yang tidak dapat dibagi lagi. Sesungguhnya terdapat bagian kecil yang tidak dapat dibagi lagi dan tidak terlihat ... Tidaklah mungkin memasukkan satu atom ke atom yang kecuali kedudukan keseluruhannya lebih besar dari salah satu diantara keduanya. Dan juga tidak mungkin atom kosong.^{xvii} Pada bagian lain, Jabir bin Hayyan juga menyatakan tentang persenyawaan antar dua zat, yang mana molekul hasil persenyawaan tersebut berbeda dari kedua atom pembentuknya, dan perlu alat khusus untuk memisahkan keduanya kembali.

“Sebagian orang menduga suatu kekeliruan bahwa pada waktu air raksa bersatu dengan belerang, maka terbentuklah suatu benda baru (lain) dalam keduanya, dan pada hakekatnya kedua benda itu tidak hilang bendanya, dan apa yang terjadi pada keduanya adalah terpecahnya menjadi molekul-molekul, yang selanjutnya bersenyawa antara satu dengan lainnya, sehingga mata biasa sudah tidak lagi mampu membedakan antara keduanya. Tampak bahwa benda hasil persenyawaan itu berpadu. Andai saja sudah ada sebuah alat khusus yang dapat memisahkan antara kedua unsur yang halus tersebut, tentulah akan diketahui bahwa masing-masing dari kedua unsur itu tetap utuh semua sifatnya, dan tiada terpengaruh sedikitpun.”^{xviii}

Dalam uraian Jabir bin Hayyan di atas, terlihat bahwa adanya kesamaan pandangan dengan Demokritus yang menyatakan bahwa atom merupakan bagian terkecil suatu benda, dan tidak dapat dibagi lagi. Namun, pandangan Jabir tentang atom jauh lebih maju dari pandangan teori Atomisme^{xix} Demokritus, yang belum menjelaskan keadaan atom ketika bergabung dengan yang lainnya. Dalam beberapa aspek memiliki dasar bagi teori atom Dalton yang menyebut atom tidak dapat dibagi lagi dan dapat membentuk senyawa dalam perbandingan tertentu.^{xx} Dalam hal ini Jabir juga telah mendefinisikan senyawa kimia

sebagai gabungan unsur-unsur yang sangat kecil, sama halnya dengan apa yang ditemukan oleh John Dalton sepuluh abad kemudian. Dengan definisinya itu, Jabir pun telah menolak anggapan kuno yang mengatakan bahwa penggabungan unsur-unsur yang tergabung tersebut dan melahirkan unsur baru, yaitu gabungan. Demikian pula, Jabir berpandangan bahwa semua materi dibentuk oleh partikel dasar yang terdiri dari muatan yang menyerupai petir dan api^{xxi}. Pernyataan Jabir ini mirip dengan apa yang sekarang dikenal sebagai muatan listrik yang terdapat pada tiap atom.

c. Konsep Mizan (Keseimbangan)

Apa yang dimaksud oleh Jabir bin Hayyan dengan Konsep Keseimbangan (*Mizan/Balance*) tidaklah identik dengan konsep Kesetimbangan Kimia (*Chemical Equilibrium*) pada khazanah Kimia modern. Tampaknya, keseimbangan yang terkandung dalam pengertian Mizan, adalah lebih banyak berkaitan dengan proporsi dalam komposisi zat dan derajat sifat-sifat intrinsic zat itu sendiri. Sedangkan konsep kesetimbangan kimia merupakan proses dinamis pada reaksi kimia *reversible* (dapat balik, berlangsung dalam 2 arah), dimana laju reaksi maju sebanding dengan laju reaksi sebaliknya.

Berdasarkan begitu luasnya pembahasan yang ditulis oleh Jabir tentang konsep Mizan, terlihat bahwa konsep ini merupakan konsep yang paling penting dan menjadi inti dari pemikiran-pemikiran kimia Jabir. Secara khusus, Jabir menulis artikel-artikel yang terkumpul dalam *Kitâb al-Mawâzin*, di samping banyak tulisan-tulisan lain yang yang memang dimaksudkan untuk memberikan penjelasan tambahan dan untuk mendukung penjelasan yang terdapat pada *Kitâb al-Mawâzin*. Keterangan seperti ini ditegaskan sendiri oleh Jabir dalam *Mukhtâr Rasâ`il*.^{xxii} Konsep Mizan yang digunakan Jabir bin Hayyan mencakup beberapa pengertian, yaitu :

- a. Mizan dapat berarti berat jenis (*specific gravity*), yang mengacu pada konsep Archimides
- b. Sebagai ukuran dalam pencampuran zat sebagaimana dalam perkembangan alkhemi masa itu.

- c. Suatu spekulasi mengenai huruf-huruf abjad Arab (Simbolisme numerik), yang kemudian dikaitkan dengan empat kualitas unsur, panas, dingin, lembab, kering. Sistem ini tampaknya berasal dari Neo-Phitagoreanisme.
- d. Mizan juga merupakan prinsip utama metafisis dan simbol monisme ilmiah dari Jabir. Prinsip ini sendiri justru bertentangan dengan prinsip dualitas dari Manicheans.
- e. Mizan juga dapat berasal dari penjelasan allegoris (*ta'wil*) referensi Qur'ani mengenai penimbangan di hari akhirat. Dalam hal ini Jabir memperolehnya dari khazanah gnosisme muslim, dan dengan itu Jabir menghubungkan sistem ilmiahnya dengan ajaran keagamaan.

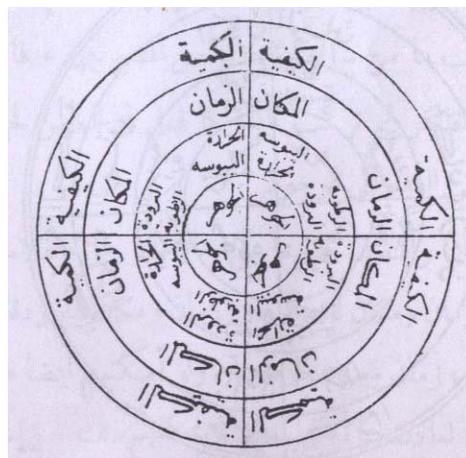
Konsep Mizan Jabir bin Hayyan terlihat mendapatkan pengaruh dari pemikir-pemikir Yunani terdahulu. Di antara filosof Yunani yang mempengaruhi konsepsi Mizan Jabir bin Hayyan adalah Aristoteles (384-332 SM), Apollonius (abad 1 SM), Porphyrius (233-350 M), Galens, dan Phytagoras, yang masing-masingnya memiliki porsi pengaruh berbeda terhadap pemikiran Jabir tentang Mizan. Aristoteles mempengaruhi Jabir dalam hal penentuan aspek-aspek kategori yang menentukan bagi konsep mizan yang dibangun Jabir.^{xxiii} Secara khusus Jabir mengutip ungkapan Aristoteles yang membagi segala sesuatu menjadi 10 kategori, yaitu *al-Jauhar* (zat/*ousia*), *al-Kamm* (kuantitas/*poson*), *al-Kaif* (kualitas/*poion*), *al-Zaman* (waktu/*pote*), *al-Makan* (tempat/*pou*), *al-Idhofah* (relasi/*prosti*), *al-Qaniyah* (milik/*echein*), *al-Wadh'u* (keadaan/*keisthai*), *yaf'al* (berbuat/*poiein*), dan *yunfa'al* (menderita/*paschein*).^{xxiv}

Jabir menganggap kesepuluh kategori tersebut berlaku secara umum untuk benda yang ada, dan tampaknya menjadikan kategori tersebut sebagai landasan filosofis bagi konsep mizannya yang memadukan aspek kualitas dan kuantitas zat. Secara khusus menekankan empat di antara kesepuluh kategori tersebut sebagai faktor penting dalam konsep mizannya, yaitu kualitas, kuantitas, waktu dan tempat, dengan tidak menafikan keberadaan kategori-kategori yang lainnya.

Adapun terhadap Apollonius, seorang Neo-phytagorean dari Tyana, Jabir banyak mengomentari pandangan Apollonius, berkaitan dengan konsep Mizan. Secara khusus Jabir bin Hayyan menuliskan beberapa kitab tersendiri secara berseri untuk mengomentari konsep mizan yang juga dikemukakan oleh Apollonius.^{xxv} Sedangkan Galens, dikutip pada beberapa tempat dalam tulisan Jabir, seperti pada komentar Jabir tentang akal pertama Galens.^{xxvi} Terhadap Porphorius, Jabir banyak mengomentari pandangan-pandangannya ketika membahas penerapan konsep mizan terhadap hewan dan tumbuhan.^{xxvii}

Konsep Mizan digunakan Jabir dalam metode eksperimennya untuk mendapatkan proporsi yang tepat bagi unsur-unsur. Menurutnya, semua kerja alkhemi berkaitan dengan pengaturan proporsi yang cocok dari sifat-sifat atau tabiat-tabiati yaitu panas, dingin, lembab dan kering. Konsep tentang Mizan merupakan konsepsi alkhemi khas Jabir, yang memadukan aspek kuantitatif dengan pandangan kosmologis. Dalam hal ini, Keseimbangan dan proporsi, tentunya, tidak hanya berarti hubungan yang dinyatakan dengan jumlah, tetapi juga aspek ontologis dari Kesatuan Alam.

Mengenai produksi kedua dalam seni ini, barang siapa yang punya pengetahuan tentang latihan yang diperlukan akan memiiah lebih dulu Waktu, saat ia akan membentuk sesuatu dan kemudian Tempat, lalu Waktu ... setelah itu, untuk menambah sifat suatu bahan, ia akan pilih jumlah dan sifat yang sesuaiLalu akan ia rancang [dengan bahan tersebut] salah satu dari sifat itu yang terkuat [yaitu yang paling aktif] dan yang akan berada dibagian dalam benda itu (Awas, jangan mulai dengan merancang [sifat] yang diluar, karena itu adalah kesalahan yang besar). Pada bagian ini ia akan menambahkan padanannya diantara [sifat] yang pasif. Jadi bagian luar dirancang, sesuai dengan komposisi bagian dalam; dengan cara ini barang itu dibuat, dari bukan-wujud jadi wujud.^{xxviii}



Gambar 7. Penerapan faktor pembentuk keseimbangan dalam empat jenis interaksi sifat.

Sumber: Jabir (1935)

Keseimbangan sifat-sifat berarti harmoni antara berbagai tendensi Jiwa dunia, yang menentukan dan mengatur sifat-sifat dasar. Tiap logam punya dua sifat luar (eksternal) dan dua sifat dalam (internal). Misalnya, emas di dalam dingin dan kering, di luar panas dan lembab. Perak kebalikannya – panas dan lembab di dalam, dingin dan kering di luar. Tiap sifat ada empat derajat dan tujuh subbagian atau seluruhnya terdiri dari dua puluh delapan bagian. Menurut Jabir semua benda di dunia ini berada dalam jumlah 17, terbagi dalam kumpulan 1:3:5:8. Ia menghubungkan dua sifat yang 28 bagian itu dengan satu huruf dalam abjad Arab dan melandasi pembagian empat rangka dengan deret 1:3:5:8. Sifat-sifat yang berlawanan dari logam berada dalam rasio 1:3 atau 5:8 ataupun sebaliknya.

Sebagai bagian dari simbolisme numeriknya^{xxix}, Jabir juga membuat berbagai tabel dimana nilai huruf Arab, tergantung dari posisinya pada nama Arab untuk tiap logam, dinyatakan dalam kuantitas tiap sifat yang empat itu, tujuh huruf dari dua puluh delapan diperuntukkan bagi tiap sifat. Sebagai contoh, timbal dalam bahasa Arab adalah *usrub*; terdiri dari huruf Arab *alif* (a), *sin* (s), *ra* (r) dan *ba* (b). [Vokal/ *harkat*-nya singkat tidak ditulis]. *Alif* yang terdapat pada awal nama itu melambangkan panas pada timbal; panas ini dalam derajat yang pertama, sesuai dengan posisinya dalam nama tersebut. Dalam tabel yang diberikan Jabir, panas derajat pertama bernilai $1 \frac{1}{4}$ *dirham* (satuan berat Arab tradisional). *Sin* menempati derajat kedua dan bersifat kering, punya nilai 1 *dirham*. Dengan cara yang sama, Jabir memberi nilai $1 \frac{1}{6}$ *dirham* untuk panas, 1 untuk kering, $1 \frac{1}{4}$ untuk lembab dan $9 \frac{1}{3}$ untuk dingin. Sepotong timbal berat $12 \frac{3}{4}$ *dirham* jadinya akan mengandung $1 \frac{1}{6}$ *dirham* panas, $9 \frac{1}{3}$ dingin, 1 kering dan $1 \frac{1}{4}$ lembab. Semua timbal, menurut teori Jabir, mengandung proporsi sifat yang sama, tak peduli berapa beratnya atau ukurannya atau ciri lahirnya yang lain. Rasio ini berpadanan dengan sifat esensial timbal dan hanya inilah faktor-faktor yang sungguh membedakan timbal dari logam lainnya. Mengubah rasio sifat ini berarti mentransmutasikan timbal menjadi anggota lain dari spesies logam.^{xxx}

d. Konsep Sulfur-Merkuri

Konsep kimiawi lain yang menjadi keunikan alkhemi Jabir bin Hayyan adalah pemikiran Jabir tentang Konsep Sulfur – Merkuri. Konsep kimiawi ini, oleh Jabir digunakan untuk menjawab pertanyaan besar tentang batu filosof (*stone philosopher*/ حجر الفلاسفة).

Menurut Jabir bin Hayyan, semua logam pada dasarnya tersusun dari merkuri dan membeku dengan sulfur. Bila air raksa dan sulfur bergabung membentuk satu zat tunggal, diduga bahwa keduanya pada hakekatnya telah berubah dan satu zat yang sama sekali baru telah terbentuk. Tapi kenyataannya adalah lain sama sekali. Keduanya, merkuri dan sulfur, tetap mempertahankan sifatnya masing-masing; apa yang telah terjadi hanyalah bahwa bagian-bagiannya telah diperlunak dan didekatkan satu sama lain, sehingga dalam penglihatan mata hasilnya tampak seragam^{xxxii}

Teori ini dapat dikatakan merupakan cikal bakal dari teori modern asam-basa, Asas sulfur-merkuri, yang pada setiap alam manifestasi berpadanan dengan asas aktif (atau maskulin) dan pasif (atau feminin) dalam tinjauan kimia, menjadi asam dan basa, yang jika bersatu akan membentuk garam. Secara alkhemis teori ini menjelaskan dualitas maskulin-feminin, dimana pada dualitas inilah semua eksistensi kosmis tergantung dan dalam hubungan ini pula semua sains kosmologi abad pertengahan berusaha menjelaskan fenomena alam.

Prinsip sulfur-merkuri Jabir yang menggambarkan prinsip dualitas pasif-aktif, atau feminin dan maskulin ini, dapat juga dibandingkan dengan pasangan Yin – Yang, simbol Taoisme tentang dua prinsip yang saling melengkapi. Sulfur adalah prinsip maskulin, dan merkuri adalah prinsip feminin.^{xxxiii}

Bagan kosmologi Jabir bin Hayyan didasarkan pada relasi dari sejumlah keadaan zat satu terhadap lainnya, relasi yang tergantung dari pengaruh yang didapat oleh keadaan lebih rendah dari tindakan keadaan yang lebih tinggi, dan pada gilirannya keadaan yang lebih rendah ini menyalurkan pengaruhnya kepada peringkat yang berada dibawahnya dalam rantai Wujud, ia menguraikan tentang penurunan dari alam Akal melalui Jiwa kedalam elemen – yang seperti telah kita ketahui, terdiri dari sifat yang empat. Karenanya, elemen-elemen alkhemi merupakan bagian dari kesatuan yang besar, yakni jagad raya, persis sebagaimana halnya sains alkhemi merupakan cabang dari sains yang lebih universal, yaitu kosmologi. Dalam hal ini, unsur-unsur dan seluruh benda mati dan benda hidup berada dalam kerangka kosmologi rasi bintang yang dinamis, menegaskan keserasian dan keseimbangan antara seluruh komponen alam semesta, dan ketergantungannya satu sama lain.

Menurut keyakinan Jabir, akibat adanya pengaruh planet-planet, terjadilah di bumi ini logam-logam karena penggabungan belerang dan air raksa. Terjadinya berbagai macam logam adalah karena belerang dan air raksa itu tidak pernah murni, dan karena keduanya tidak selalu bergabung dengan perbandingan yang sama. Apabila belerang dan air raksa itu benar-benar murni dan bergabung dalam keseimbangan alamiah yang sempurna, maka hasilnya adalah logam yang paling sempurna yaitu emas. Kesalahan-kesalahan dalam kemurnian dan perbandingan itulah yang mengakibatkan terjadinya perak, timah, timbal, besi atau tembaga. Oleh karena itu, bila kesalahan dalam kemurnian dan perbandingan itu tadi dapat dikoreksi, maka dapatlah logam-logam diubah menjadi emas. Usaha ini dapat dijalankan dengan bantuan bermacam-macam eliksir.^{xxxiii}

Teori sulfur – merkuri Jabir ini, sulit diterima bila ditinjau dengan kaca mata ilmu kimia modern, sebab bertentangan dengan kenyataan. Tetapi, teori ini telah menjadi salah satu teori kimia tertua, yang dapat bertahan hingga berabad-abad lamanya. Di Eropa, teori ini kemudian dikembangkan pada abad ke-17 dan pada abad ke-18 M menjelma menjadi teori “Phlogiston” yang menganggap bahwa di dalam semua benda yang dapat dibakar, terdapat suatu zat “Phlogiston” yang tidak dapat dibakar. Sebagaimana diketahui, teori “Phlogiston” ini lalu diruntuhkan oleh pandangan ahli kimia Prancis terkenal, Lavoisier pada 1777 M.

Transmutasi Logam

Jabir berpendapat bahwa transmutasi yaitu penyesuaian aspek luar dan dalam logam sebagai cara mencapai proporsi sempurna yang terdapat pada emas. Transmutasi semacam ini dapat terjadi dengan bantuan Elixir, yaitu suatu bahan yang tersedia di alam mineral, nabati atau hewan, yang digunakan sebagai agen spiritual yang kehadirannya diperlukan demi berhasilnya proses transmutasi.^{xxxiv}

Jabir menulis tentang teori sulfur-air raksa bahwa semua logam pada dasarnya tersusun dari air raksa dan membeku dengan sulfur (belerang). Mereka berbeda satu sama lainnya hanya karena adanya perbedaan sifat yang terjadi dan perbedaan ini disebabkan karena beda varietas sulfurnya, yang untuk selanjutnya disebabkan oleh variasi dalam bumi dan yang terkena panas matahari dalam gerak perputarannya.

Bila air raksa dan sulfur bergabung membentuk satu zat tunggal, diduga kuat bahwa keduanya pada hakekatnya telah berubah sehingga dengan demikian satu zat yang sama sekali baru benar-benar telah terbentuk. Sesungguhnya kedua bahan tersebut tidak kehilangan sifat aslinya (bertahan dengan sifatnya masing-masing), sedangkan yang sesungguhnya terjadi adalah keduanya berdisintegrasi menjadi partikel-partikel kecil tersebut bercampur dengan partikel-partikel lainnya (bagian-bagiannya itu telah menjadi lunak dan didekatkan satu sama lain), sehingga mata telanjang tidak dapat membedakan partikel-partikel tersebut. Jadi, produk yang dihasilkan itu tampak homogen dalam susunannya. Akan tetapi jika ada alat yang dapat membedakan partikel-partikel itu, dapat diketahui bahwa masing-masing partikel tersebut tetap dalam keadaannya yang asli.

e. Beberapa Proses Kimiawi Pada Karya Jabir bin Hayyan

Meskipun tulisan-tulisan Jabir bin Hayyan memuat banyak hal, dan sebagiannya menggunakan bahasa simbolisme khas alkhemi, namun terdapat berbagai pernyataan yang secara jelas menggambarkan proses kimiawi sebagaimana dikenal pada perkembangan kimia modern sekarang. Dalam karya-karya Jabir tergambar beberapa proses dan teknik kimiawi yang cukup gamblang. Philip K.Hitti (2006:476-477) mengemukakan bahwa Jabir bin Hayyan berhasil menggambarkan secara ilmiah dua operasi utama, yaitu kalsinasi (sic kalsinasi) dan reduksi kimiawi. Jabir juga berhasil memperbaiki berbagai metode penguapan, sublimasi, peleburan dan kristalisasi. Beberapa proses teknik reaksi kimia dijelaskan secara rinci oleh Jabir, misalnya pemurnian logam, penguapan, destilasi, dan sebagian lainnya disebutkan secara umum, yang dalam pandangan penulis, penyebutan tanpa rincian lebih lanjut menandakan bahwa proses tersebut sudah dikenal baik pada waktu itu.^{xxxv} Beberapa proses kimiawi yang dijelaskan secara rinci tersebut antara lain dapat digambarkan sebagai berikut:

i. Penguapan dan Kristalisasi

Penguapan merupakan teknik kimia sederhana yang dilakukan untuk memisahkan suatu bahan dari kandungan zat cairnya. Cara ini sekarang juga dapat disebut **kristalisasi** karena umumnya padatan yang tersisa dari penguapan seluruh pelarutnya akan berbentuk kristal-kristal padatan. Jabir menyebutkan tentang proses penguapan ini pada beberapa bagian tulisannya. Misalnya, pada bahan yang mengandung minyak, minyaknya dapat dipanaskan hingga menguap, dan menyisakan padatan berwarna hitam.

واعلم أن الدهن إن كان للمرتبة الأولى فإذا صعد حتى تبقى الرطوبة علكة سوداء فقد تم ولا يجب أن يدخل معه من الماء إلا ما كان مثله في الطهارة والبرد فقط ...^{xxxvi}

Ketahuiilah, bahwa asap yang dihasilkan dari penguapan derajat pertama akan menyisakan residu berwarna hitam (pada bagian bawah) di akhir penyulingan. Tidak perlu memasukkan air ke dalamnya, kecuali untuk pencucian dan pendinginan saja.

Pada kutipan di atas, tersisanya padatan yang telah kering dan berwarna hitam, menurut Jabir, merupakan pertanda bahwa bahwa proses penguapan telah sempurna. Pada bagian lain tulisannya, Jabir juga menyebutkan proses penguapan ini dapat dilakukan berulang kali sebagai bagian dari proses pencelupan.^{xxxvii}

ii. Destilasi (Penyulingan)

Teknik destilasi yang sekarang digunakan sebagai salah satu teknik pemisahan zat organik, ternyata telah dikenal pada masa Jabir bin Hayyan. Pada masa itu, destilasi anggur dan sifat-sifat alkohol dapat dipastikan telah dikenal. Jabir dalam salah satu tulisannya menggambarkan salah satu penggunaan destilasi anggur.

والنار التي تشتعل في رؤوس القوارير بالنبيذ والملح المغلي وما أشبه ذلك من الأشياء في الخواص البديعة التي يظن أن مقدار الفائدة فيها يسير. وهذه تدل على شيء كثير في هذه العلوم^{xxxviii}

Pada kutipan di atas, Jabir menggambarkan adanya zat yang mudah terbakar sebagai akibat pendidihan anggur dan garam pada bagian atas wadah botol kaca, dimana proses pembakaran yang terjadi sebagai pelepasan energi yang tersimpan di dalam zat yang terbakar. Teori Jabir sendiri sempat bertahan sampai akhir abad ke-18 M dan bahkan menjadi dasar bagi teori *Phlogiston* yang mengatakan bahwa semua benda yang mudah terbakar mengandung zat yang elusif dan tidak bisa didefinisikan, yang menyerupai api yang disebut *phlogiston* yang diduga telah melepaskan diri dari zat yang terbakar pada waktu pembakaran.

Di samping itu Jabir juga menyebutkan bahan-bahan yang dapat didestilasi seperti, daun bayam, buluh, jenis tumbuhan sayur lain, buah-buahan, Jabir juga menjelaskan beberapa teknik destilasi yang digunakannya.^{xxxix}

Gambaran kutipan di atas sesungguhnya merupakan gambaran teknis dari proses destilasi sebagaimana dikenal sekarang. Teknik destilasi ini sendiri, dalam bentuknya yang sangat sederhana, sebetulnya telah dikenal di Yunani dalam pembuatan spiritus. Jabir menyempurnakan teknik tersebut dengan menggunakan peralatan yang lebih sistematis dengan menggunakan botol kaca^{xl}, yang kemudian menjadi cikal bakal teknik pemisahan kimia organik semi mikro. Pada bagian lain tulisannya, Jabir juga mendeskripsikan bentuk botol yang digunakan untuk destilasi dengan bentuk labu^{xli}. Bentuk labu kimia ini yang kemudian dikenal dengan sebutan alembik ini merupakan bagian dari kontribusi Jabir terhadap pengembangan alat-alat laboratorium. Alat yang digunakan oleh Jabir menjadi dasar bagi alat destilasi modern.

Teknik destilasi anggur maupun bahan-bahan lainnya, merupakan teknik kimia yang kemudian banyak digunakan sebagai kebutuhan untuk memproduksi parfum, dan berbagai senyawa obat-obatan dari tumbuhan^{xlii}. Beberapa ilmuwan muslim lainnya, semisal Al-Razi, Al-Kindi, Al-Farabi, maupun Ibnu Badis dan al-Zahrawi, juga menyebutkan teknik ini dalam tulisan mereka. Misalnya, Al-Farabi (265-339 H/878-950M) menyebutkan penambahan belerang pada destilasi anggur.^{xliii}

Teknik destilasi anggur sebagaimana digambarkan di atas, banyak dilakukan oleh Jabir bin Hayyan dalam eksperimennya. Lebih jauh, bahkan tampaknya telah melakukan teknik yang sekarang dikenal dengan destilasi bertingkat. Teknik ini seperti ini, misalnya, tergambar pada salah satu bagian dari tulisannya yang menguraikan tentang proses destilasi dari minyak yang dianjurkan dilakukan dalam tiga tahapan.^{xliv}

iii. Peran Elikzir

Jabir bin Hayyan menempatkan Elikzir sebagai bagian yang penting dari konsepsi kimia yang dikembangkannya. Jabir menggabungkan konsep mizan dengan peran elikzir yang sejak lama dianggap dapat digunakan untuk merubah berbagai logam menjadi emas ataupun perak. Perubahan atau transmudasi tersebut dapat dilakukan dengan memperhatikan komposisi sifat dasar yang dikandung oleh masing-masing logam

إن الاسرب بارد يابس في الظاهر، وحر رطب في الباطن، وكذلك بالنسبة للفضة، بينما

الذهب حار رطب في الظاهر، وبارد يابس في الباطن.^{xlv}

Meskipun terminologi eliksir telah lama dikenal sejak lama, namun Jabir memodifikasinya menjadi lebih realistis dan kongkret. Sebelumnya, eliksir sangat kental bermuatan mistisisme alkhemi kuno. Di masa Jabir bin Hayyan, meskipun tidak menghilangkan sepenuhnya aspek mistisisme yang menyertainya selama ini, Jabir menempatkan eliksir seperti mata uang yang memiliki dua sisi, sisi mistisisme dan sisi eksperimental. Dengan demikian, eliksir memiliki dua pengertian, baik eliksir dalam pengertian ruhani maupun eliksir dalam pengertian materi. Dalam hal ini Jabir terlihat tidak konsisten dalam menggunakan terminologi eliksir. Dalam pengertian materi, tampaknya eliksir dapat diparalelkan dengan peran katalis pada reaksi kimia.

Dalam pandangan Jabir, eliksir dapat digunakan sebagai media transformasi zat, baik itu untuk perubahan zat murni maupun bahan-bahan lain yang terdapat pada tumbuhan, maupun hewan.^{xlvi} Jabir juga memanfaatkan eliksir sebagai bahan obat-obatan. Dalam salah satu episode tulisannya, pada salah satu kunjungannya di kediaman Yahya Barmaki, dikisahkan bahwa Jabir menggunakan eliksir sebagai obat.^{xlvii}

Sedemikian pentingnya peran eliksir dalam proses kimia, mendorong Jabir menggunakan eliksir sebagai nama lain dari penyebutan ilmu kimia, dalam klasifikasi ilmu bercorak dualistik-dikhotomi yang diajukannya. Jabir kemudian membagi ilmu tentang eliksir menjadi dua bagian, yaitu eliksir merah (untuk transmudasi menjadi logam emas), dan eliksir putih (untuk transmudasi menjadi logam perak).^{xlviii} Dalam hal penggunaan eliksir untuk merubah logam menjadi emas atau perak, Jabir meyakini, sebagaimana anggapan alkhemi secara umum, dapat diperoleh dari unsur-unsur seperti tembaga, merkuri, timbal, dan besi. Anggapan ini sekilas merupakan anggapan yang semata-mata didasari mistisisme alkhemi. Dalam hal terdapat kesulitan untuk melacak tingkat keberhasilan penggunaan eliksir sebagaimana anggapan tersebut. Sejauh ini, keberhasilan penggunaan eliksir dalam karya Jabir, baru sebatas pada penggunaan pada keperluan reaksi kimia biasa dan pengobatan.

Dalam perkembangan kimia modern saat ini, sesungguhnya anggapan mistisisme yang menyertai mitos penggunaan eliksir untuk transmudasi logam menjadi emas, menjadi terbuka

kemungkinannya. Dalam kimia inti, ^{xlix} reaksi-reaksi inti yang melibatkan berbagai logam, dapat dilakukan transmudasi inti atom menjadi unsur-unsur logam yang berbeda.

3 PENUTUP

Meskipun masih dipengaruhi oleh mistisisme alkhemi, Jabir bin Hayyan dapat dikategorikan sebagai seorang Pelopor Ilmu Kimia Modern, dengan prinsip Empirik dan Metode Ilmiah berbasis Eksperimen yang diyakininya. Prinsip ini melampaui perkembangan keilmuan masa itu, yang lebih cenderung rasional spekulatif dan bercampur dengan mistisisme Yunani. Konsep-konsep kimiawi Jabir bin Hayyan, sebagiannya merupakan kelanjutan dari filsafat Atomisme Yunani, namun memiliki kekhasan dalam Konsep Mizan, dan Metode Empirik yang dipegang teguhnya.

Jabir memiliki konsep-kimiawi seperti Konsep Atom yang lebih maju ketimbang Atomisme Demokritus, dan dapat diduga menjadi dasar yang paralel dengan teori Atom yang lebih modern sebagaimana dikemukakan oleh John Dalton. Konsep Jabir tentang Mizan, meskipun bercampur dengan pengaruh mistisime dan kosmologi khas alkhemi, memiliki keunikan dalam upayanya memadukan aspek kuantitatif dengan aspek kualitatif dalam proses-proses kimia, termasuk transmudasi logam.

Jabir bin Hayyan telah terbiasa dengan berbagai proses-proses reaksi kimia, dan bahkan pada sebagiannya mampu mengembangkan metode yang lebih baru. Jabir telah menggunakan teknik-teknik kimia seperti destilasi, evaporasi, sublimasi, filterisasi, pencampuran logam, kalsinasi, dan lain sebagainya. Secara epistemologis, Jabir bin Hayyan menggunakan metode eksperimen (*manhaj tajribiy*) sebagai pelengkap dari metode epistemologi pendidikan lainnya, seperti metode rasional, intuitif, dialog, komparatif, dan kritik.

DAFTAR PUSTAKA

-
- ⁱ Scerri, Eric R. *Philosophical Confussion in Chemical Education Research*. Journal of Chemical Education. Vol. 80 No.5 May 2003. p. 468-473
- ⁱⁱ Scerri, Eric R & McIntyre, Lee. *The Case for the Philosophy of Chemistry*. Synthese: No. 111 1997. p 213-232. Dan Eric R Scerri, *Philosophy of Chemistry: New Interdisciplinary Field?*. Journal of Chemical Education. Vol. 77 No.XX 2000. p. 1-4
- ⁱⁱⁱ Edwar F Caldin, *Structure of Chemistry: in Relation to the philosophy of Science*. International Journal for Philosophy of Chemistry. Vol. 8 No. 2. 2002 p. 103-104
- ^{iv} Joachim Schummer, dalam Donald M. Borchert. *Encyclopedia of Philosophy* vol.2. Detroit: Thomson & Gale. 2006. p. 140
- ^v Jabir bin Hayyan, *Mukhtâr Rasâ`il* 1 h. 233-234
- ^{vi} Knight, Judson. *Science of Everyday Things. Vol I: Real Life Chemistry*. Detroit: Gale Group-Thomson Learning. 2002, p.33
- ^{vii} Jabir, kitab *Al-Hudūd*, h. 111
- ^{viii} Jabir bin Hayyan, *Kitâb Ikhrâj Mâ fî Al-Quwwah*, h.4-5
- ^{ix} Judson Knight, *Science of Everyday Things*, p.273
- ^x Jabir, *Kitâb Ikhrâj Mâ fî Al-Quwwah*, h.4
- ^{xi} Poedjiadi, Anna. *Sains Teknologi Masyarakat: Model Pembelajaran Kontekstual Bermuatan Nilai*. Bandung: Remaja Rosdakarya. 2005, h. 23
- ^{xii} Nasr, Syed Hossein. *Sains dan Peradaban dalam Islam*. (judul asal: *Science and Civilization in Islam*. terj. J. Mahyudin). Bandung: Penerbit Pustaka. 1997. h. 240
- ^{xiii} Nasr, Syed Hossein. *Sains dan Peradaban dalam Islam*. h. 245
- ^{xiv} Jabir, *Kitâb Al-Sab`în*, h. 475
- ^{xv} Robert Boyle menegaskan bahwa empat unsur yang telah dikenal sejak masa Yunani tersebut, bukanlah unsur yang sebenarnya. Karena, menurut pandangan Boyle unsur adalah zat yang sangat sederhana dan murni, yang tidak dibuat dari zat lain, dan merupakan bagian dari senyawa. Jadi, unsur adalah zat yang tidak dipecah lagi menjadi zat lain, dan senyawa adalah penggabungan antara partikel-partikel dasar unsur. Lihat, Anna Poedjiadi, *Sains Teknologi Masyarakat*, h. 21-22.
- ^{xvi} Teori Atomisme Yunani dikembangkan di antaranya oleh Leukipos dan Demokritos (abad ke-5 SM) yang berpandangan bahwa alam semesta terdiri atas atom-atom, entitas yang paling sederhana, yang tidak dapat dibagi lagi. Secara umum, teori ini merupakan dasar dari pandangan materialistis, terutama setelah dikembangkan oleh Rene Descartes dan dipadukan dengan paham dualisme. Lihat Bagus, *Kamus Filsafat*, h. 97-98 dan Gazalba, *Sistematika Filsafat*, h. 7-8
- ^{xvii} Uraian tentang hal ini lebih lengkap dan panjang lebar dapat dirujuk pada Jabir, *Kitab Al Khawâsh al-Kabîr*. H. 234-237. Di sini Jabir menyebutkan belasan point yang sebagian di antaranya berkaitan dengan materi dan atom.
- ^{xviii} Budi Yuwono, *Ilmuwan Islam Pelopor Sains Modern*, Jakarta: Pustaka Qalami. 2005, h. 92
- ^{xix} Lorens Bagus, *Kamus Filsafat*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama. 2005. h. 97
- ^{xx} Raymond Chang, *Chemistry*, p. 76 dan Judson Knight, *Science of Everyday Things*, p. 68
- ^{xxi} Poedjiadi, *Kimia dari Zaman ke Zaman*, 49-50
- ^{xxii} Lihat Jabir, dalam *Nukhab min Kitâb al-Mîzân al-Shaghîr*. h. 449-450

-
- xxiii Lihat Jabir, kitab *al-Mizân al-Shaghîr*, h. 428.
- xxiv Di antara pengertian Kategori adalah kelompok hal yang mempunyai sebuah predikat atau dapat ditunjukkan oleh suatu istilah. Definisi lain menjelaskan bahwa kategori berupa gagasan dasar apa saja, konsep apa saja, ide manapun, atau prinsip mana saja yang mendasar bagi suatu sistem filsafat. Lihat Lorens Bagus, *Kamus Filsafat*, h. 395-396
- xxv Jabir terhitung sangat banyak mengutip dan mengomentari pandangan pandangan Apollonius. Secara khusus, misalnya, Jabir menulis beberapa seri *Kitâb al-Ahjár 'alâ Ra'y Balînâs*. Juz ke 1, 2 dan 4 dari seri tersebut terdapat pada *Mukhtâr Rasâ'il* vol I ini.
- xxvi Secara lebih lengkap, komentar Jabir tersebut dapat dirujuk pada Jabir, *kitâb al-Tashrîf*, h. 420.
- xxvii Jabir, *kitâb al-Tajmî'* h.383-388
- xxviii Nasr, *Sains & Peradaban Islam*, h. 241
- xxix Nasr, *Kosmos & Tataan Alam* dalam Nasr, *Ensiklopedi Tematik Spiritualitas Islam (Buku Pertama)*, Bandung: Mizan. 2002 h. 476-477.
- xxx Nasr, *Sains & Peradaban Islam*, 244-245
- xxxi Nasr, *Sains dan Peradaban Islam*, h. 246
- xxxii Pengungkapan adanya keterkaitan antara konsep sulfur-merkuri Jabir dengan prinsip maskulin-feminin, sebagaimana prinsip Yin – Yang pada simbol Taoisme juga disebutkan oleh Jean Canteins (1991), dalam tulisannya berjudul *Ilmu-ilmu Tersembunyi dalam Islam*. Lihat Jean Canteins, *Ilmu-ilmu Tersembunyi dalam Islam*, dalam Nasr, *Ensiklopedi Tematis Spiritualitas Islam: Manifestasi*, h. 591-594
- xxxiii Nasr, *Sains & Peradaban dalam Islam*, h.
- xxxiv Jabir *kitâb al-Ahjár* 1, h. 141-144
- xxxv Jabir, *kitâb al-Khawwâsh al-Kabîr*, h. 313
- xxxvi Jabir, *kitâb al-Sab'în*, h. 479
- xxxvii Tentang proses penguapan lainnya, juga dapat ditelusuri pada bagian lain tulisan Jabir, misalnya pada Jabir, *kitâb al-Sab'în*, h. 473
- xxxviii Jabir, *Kitâb Ikhrâj Mâ fî Al-Quwwah*, h.76
- xxxix Jabir, *kitâb al-Sab'în*, h. 479-481
- xl Jabir, h. 94
- xli Jabir, *kitâb al-Sab'în*, h. 477
- xlii Jabir, *kitâb al-Sab'în*, h. 477-478
- xliii Ahmad Y Al Hassan, *Alcohol and the Distillation of Wine in Arabic Sources*.
- xliv Jabir, *kitâb al-Sab'în*, h. 479-480
- xliv Jabir dalam AN Ka'daan. *Jabir ibn Hayyan wa 'Ilm al-Khimiya' ('Ilm al-Shun'ah)*.

Artikel. Diakses pada Agustus 2007 dari [http://](http://www.ishim.net.ankaadan6/jaber.htm)

www.ishim.net.ankaadan6/jaber.htm

- xlvi Jabir, h. *kitâb al-Ahjár* 1 h. 141-144
- xlvii Jabir, h. 303
- xlviii Jabir, h. 106-108
- xlix Chang, *Chemistry*, p. 475

Biokimia

FORTIFIKASI PROTEIN DARI KACANG HIJAU (*VIGNA RADIATA*) PADA PRODUKSI SEREAL BERBAHAN BAKU UBI JALAR (*IPOMOEA BATATAS*) DAN ANALISIS KANDUNGAN GIZINYA

Florentina Maria Titin Supriyanti^{1*}, Adhytia Ichsan Rachmawan¹

Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA, UPI Bandung¹
florentinasupriyanti@yahoo.co.id*

ABSTRAK

Ubi jalar (*Ipomoea batatas*) merupakan hasil pertanian yang belum banyak dimanfaatkan, namun ubi jalar ini kaya akan serat dan kalsium, sekalipun kadar proteinnya lebih rendah jika dibandingkan dengan gandum. Sereal merupakan produk olahan berbahan baku tepung, bersifat instan dan digemari oleh anak-anak. Tujuan penelitian ini adalah produksi sereal terfortifikasi protein dari bahan kacang hijau (*Vigna radiata*), menggunakan bahan baku ubi jalar, serta analisis terhadap kandungan gizinya. Metode yang dilakukan pada penelitian ini meliputi produksi sereal dengan variasi rasio kacang hijau dan ubi jalar, yaitu 1:1 (sereal I); 6:4 (sereal II); dan 7:3 (sereal III) serta analisis kandungan gizi untuk produk sereal dengan rasio terpilih, meliputi kadar air; abu; protein; karbohidrat dan lemak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ubi jalar dapat dijadikan bahan baku dalam produksi sereal. Produk sereal terbaik ditinjau dari aroma, rasa, warna dan kerenyahan adalah produk sereal III, yaitu 70% tepung ubi jalar dan 30% tepung kacang hijau. Adapun kandungan gizi sereal III meliputi kadar air 4 %; abu 5%; karbohidrat 44,37%; protein 3,16% dan lemaknya 12,94%.

Katakunci: Ubi jalar, sereal, fortifikasi, kacang hijau, kandungan gizi

1 PENDAHULUAN

Ubi jalar (*Ipomoea batatas*) merupakan salah satu jenis bahan pangan hasil pertanian yang belum banyak digunakan. Di Indonesia ubi jalar umumnya dikonsumsi secara langsung dalam bentuk umbinya. Sementara itu ubi jalar sangat berpotensi untuk dijadikan bahan alternatif pengganti beras atau bahkan untuk perbaikan gizi masyarakat karena tingginya kandungan gizi yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan karbohidrat, vitamin A, vitamin B dan vitamin C.

Dewasa ini pemanfaatan ubi jalar sebagai salah satu bahan pangan alternatif yang sangat baik telah dilakukan di beberapa daerah dan industri dengan melakukan pengolahan menjadi tepung dan pasta ubi jalar. Sementara itu produk yang banyak diminati oleh masyarakat adalah produk-produk yang bersifat instan, mudah digunakan dengan waktu yang cepat. Salah satu produk instan yang banyak disukai masyarakat adalah sereal, yaitu jenis olahan makanan yang biasa terbuat dari biji-bijian seperti beras atau gandum sangat diminati. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan produksi sereal menggunakan bahan baku ubi jalar sebagai pengganti biji-bijian. Salah satu

penelitian pembuatan sereal menggunakan ubi-ubian pernah dilakukan , yaitu menggunakan ubi ganyong(*Canna edulis*). Ubi ganyong merupakan bahan pangan non beras yang bergizi cukup tinggi terutama untuk kandungan kalsium, fosfor dan karbohidrat, bahan tersebut digunakan untuk pembuatan sereal bayi.

Dalam upaya mendapatkan produk pangan bernilai gizi tinggi maka dilakukan fortifikasi, yaitu melalui penambahan kacang hijau (*Vigna radiata*) sebagai sumber protein dalam produksi sereal berbahan baku ubi jalar. Dari tujuan tersebut muncul permasalahan yaitu pada rasio atau komposisi terbaik berapakah produk sereal berbahan baku ubi jalar dan tepung kacang hijau tersebut menghasilkan produk dengan nilai gizi tertinggi.

2 METODE PENELITIAN

- a. Bahan : ubi jalar, kacang hijau, tepung maizena, margarin, gula dan air.
- b. Tahapan Penelitian :

Penelitian ini terdiri dari 2 tahapan yaitu Pembuatan sereal dan analisis kandungan gizi.

- Pembuatan sereal

Pembuatan sereal diawali oleh pembuatan tepung ubi jalar dan pembuatan tepung kacang hijau. Pembuatan tepung ubi jalar dilakukan melalui sebanyak 5 Kg ubi, dikupas dan dicuci bersih, diparut kemudian dikeringkan dan dihaluskan. Sementara itu pembuatan tepung kacang hijau dilakukan melalui sebanyak 1 kg kacang hijau tanpa kulit, digiling, hingga dihasilkan tepungnya. Kedua tepung dicampur dengan rasio berbeda, untuk setiap 100 gram campuran, tepung ubi jalar : tepung kacang hijau adalah 50:50 ; 60:40 dan 70:30 . Selanjutnya campuran tepung ditambahkan 100 gram gula putih, air, vanili, 10 gram coklat bubuk, 1 sendok makan tepung maizena dan 50 gram margarin yang telah diencerkan, kemudian dihomogenisasi. Adonan yang diperoleh dikukus selama 1 jam, dilanjutkan pendinginan selama 1 hari, dan dicetak. Hasil selanjutnya dipanggang (menggunakan oven) pada suhu 120 °C, selama 30 menit, hingga didapat sereal.

- Analisis kandungan gizi

Analisis kandungan gizi yang dilakukan meliputi : penentuan kadar air, abu, karbohidrat dan protein. Adapun metode adalah sebagai berikut :

1. Penentuan kadar air.

Sampel ditimbang sebanyak 1 hingga 2 gram, kemudian dipanaskan menggunakan oven pada suhu 100 – 105 °C selama 3 jam. Sampel kemudian didinginkan dan ditimbang hingga mencapai berat yang konstan.

2. Penentuan kadar abu

Sampel sebanyak lebih kurang 3 gram, dimasukkan kedalam cawan yang telah memiliki berat yang konstan, kemudian dipanaskan sampai seluruhnya menjadi arang. Selanjutnya sampel dipanaskan menggunakan furnace pada suhu 550-600 °C sampai seluruh isi cawan menjadi abu. Tahap ini dilakukan berulang kali hingga diperoleh berat yang konstan.

3. Penentuan kadar karbohidrat.

Penentuan kadar karbohidrat dilakukan dengan menggunakan pereaksi Luff Schoorl (LS). Pekerjaan diawali dengan membuan pereaksi LS. Sebanyak 143,8 gram Na_2CO_3 dilarutkan dalam 300 mL aquades. Kemudian ditambahkan 50 gram asam sitrat yang telah dilarutkan dalam 50 mL aquades, larutan selanjutnya ditambahkan 25 gram $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang telah dilarutkan dalam 100 mL aquades. Kemudian campuran dipindahkan kedalam labu takar ukuran 1000 mL, dan diencerkan hingga tanda batas. Larutan yang dihasilkan dibiarkan selama 1 malam. Larutan siap digunakan.

Sebanyak 2,5 gram sampel dimasukkan ke dalam labu dasar bulat rata 300 mL. Selanjutnya ditambahkan 100 mL HCl 3% kemudian campuran direfluks selama 3 jam. Setelah dingin campuran dinetralkan dengan larutan NaOH 30%. Larutan hasil refluks disaring dan filtrat ditampung dalam labu takar 250 mL, kemudian diencerkan hingga tanda batas. 25 mL larutan LS dipipet dan dimasukkan ke dalam labu dasar rata. Sebanyak 10-25 mL sampel dipipet dan dimasukkan kedalam labu tersebut, kemudian ditambahkan aquades, campuran direfluks selama 10 menit. Setelah dingin campuran ditambahkan 25 mL HCl 6N sedikit demi sedikit dan 15 ml larutan KI 20 %. Campuran dititrasi menggunakan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N hingga terbentuk warna kuning jerami, selanjutnya ditambahkan larutan amilum 2% sebagai indikator. Titrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N dilanjutkan hingga terbentuk warna putih susu.

4. Penentuan kadar Protein

Pekerjaan terdiri dari destruksi sampel yang dilanjutkan dengan penentuan kadar protein sampel. Sebanyak 0,5 gram sampel dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl dan ditambahkan 5 gram garam Kjeldahl, yang terdiri dari $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan K_2SO_4 (1:3) serta beberapa batu didih. Kemudian dipanaskan dalam 10 mL H_2SO_4 pekat sehingga terjadi destruksi sampai larutan jernih, kemudian didinginkan. Selanjutnya penentuan kadar protein. selanjutnya larutan sampel dipindahkan ke dalam labu takar ukuran 50 mL dan

diencerkan hingga tanda batas. Sebanyak 5 mL larutan dipipet dimasukkan ke dalam alat destilasi dan ditambahkan 10 mL NaOH 30%. Campuran didestilasi dan eluat ditampung dalam 10 mL H₃BO₃ 3% dan 2 tetes indikator tashiro. Destilasi dilakukan hingga diperoleh destilat sebanyak 75 mL, dan destilat selanjutnya dititrasi dengan HCl 0,1 N sampai warna hijau berubah menjadi ungu.

5. Penentuan kadar Lemak.

Sebanyak \pm 15 gram sampel ditimbang, kemudian ditambahkan 225 mL HCl 25% dan 150 mL air panas. Campuran dipanaskan hingga mendidih selama 30 menit, lalu disaring dan dicuci air panas hingga bebas dari asam dalam keadaan panas. Sampel yang diperoleh dikeringkan pada suhu 100-105 °C. Kemudian dilanjutkan proses Soxhlet. Sampel dibungkus dengan kertas timbel dan ekstraksi menggunakan pelarut n-heksana selama 3 jam. Selanjutnya minyak yang didapat dikeringkan pada suhu 100-105 °C dan ditimbang hingga diperoleh berat yang konstan.

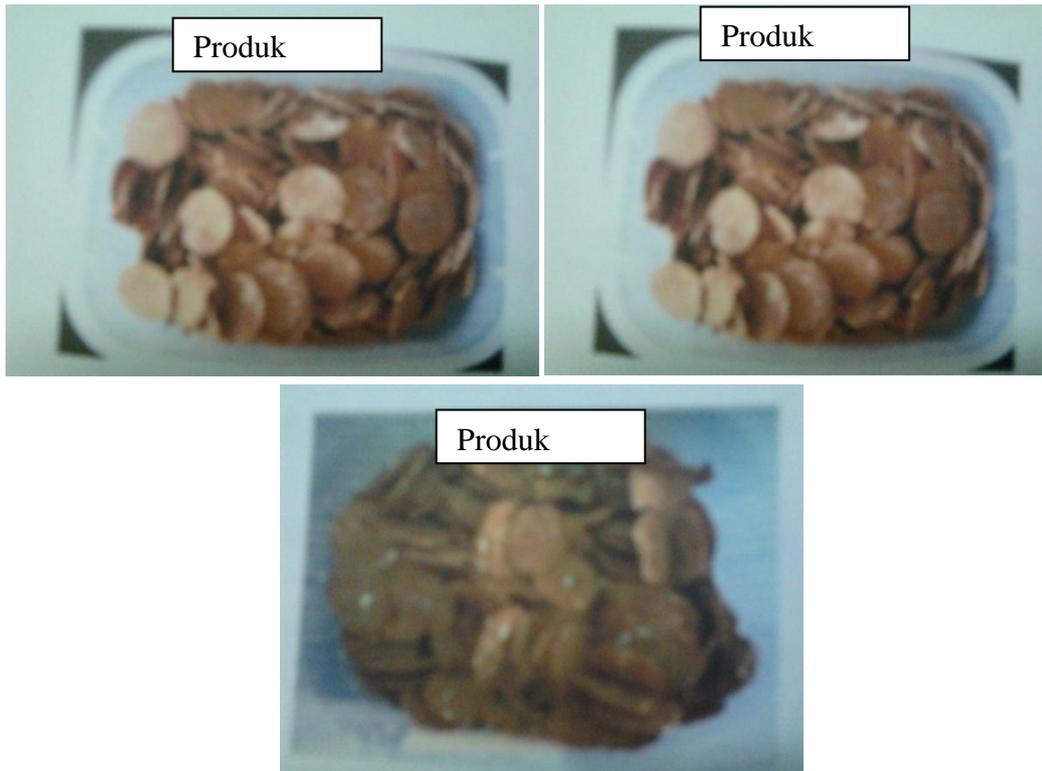
6. Penentuan kadar mineral kalsium.

Kadar mineral kalsium ditentukan dengan menggunakan metode Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Penentuan kadar mineral sampel terdahulu didestruksi menggunakan aqua regia. Larutan dikisatkan hingga volume mencapai \pm 1 mL, selanjutnya campuran dipindahkan ke dalam labu takar 25 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas, kemudian diukur dengan alat AAS pada panjang gelombang 422,7 nm.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Produksi Sereal

Didapat tiga jenis sereal yaitu perbandingan tepung ubi jalar dan kacang hijau rasio 50:50 (produk I); rasio 60:40 (produk II) dan rasio 70:30 (produk III). Berikut adalah hasil ketiga produk sereal dengan rasio antara ubi jalar dan kacang hijau yang berbeda-beda.



Gambar 1: Produk sereal

Produk sereal selanjutnya diuji karakteristiknya yang meliputi aroma, warna, rasa dan kerenyahan. Hasil karakterisasi dari ketiga produk sereal seperti yang digambarkan pada tabel 1.

Tabel 1: Karakteristik aroma, warna, rasa dan kerenyahan dari ketiga produk sereal.

Kriteria	Produk sereal I (50:50)	Produk sereal II (60:40)	Produk sereal III (70:30)
Aroma	Sedikit aroma ubi	Sedikit aroma ubi	Sedikit aroma ubi
Warna	Coklat(++)	Coklat (++)	Coklat (+)
Rasa	Rasa ubi (+)	Rasa ubi (++)	Rasa ubi (++)
Kerenyahan	Renyah	Renyah	Renyah

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa ketiga produk umumnya memiliki aroma seperti ubi, berasa ubi, berwarna coklat dan renyah. Hal tersebut menunjukkan bahwa ubi jalar dapat digunakan sebagai bahan dalam produksi sereal, dan penambahan coklat menyebabkan produk sereal memiliki warna coklat, meskipun berasa ubi.

3.2 Hasil Analisis Kandungan Gizi

Analisis kandungan gizi dilakukan untuk mengetahui kandungan gizi dari produk sereal yang didapat. Adapun analisa yang dilakukan meliputi kadar air, kadar abu, kadar karbohidrat, kadar protein, kadar lemak dan kadar kalsium.

Tabel 2 : Kandungan air, abu, karbohidrat, protein, lemak per 100 gram produk sereal.

No.	Jenis kandungan/ Hasil rata-rata	Produk sereal I (Gram)	Produk sereal II (Gram)	Produk sereal III (Gram)
1.	Air	3,2	3,1	4,0
2.	Lemak	14,07	12,90	12,94
3.	Karbohidrat	44,418	43,755	44,373
4.	Protein	5,64	5,22	3,16
5.	Abu	5,5	5,4	5,0
6.	Mineral kalsium	$1,76 \cdot 10^{-3}$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	$2,78 \cdot 10^{-3}$

Dari tabel 2 , terlihat bahwa ketiga produk memiliki kandungan air yang berbeda-beda, kandungan air ini akan mempengaruhi ketahanan bahan pangan tersebut. Buckle, 1987 menyatakan bahwa rendahnya kadar air dalam bahan pangan merupakan faktor penting yang mempengaruhi bahan pangan menjadi lebih tahan lama. Kandungan air yang disyaratkan dalam SNI 01-3842-1995 untuk produk makanan sereal sarapan instan adalah maksimum 4%. Sementara hasil analisis kandungan air dari produk sereal tersebut berkisar antara 3,1 s/d 4 % yang berada pada rentang harga yang ditetapkan SNI.

Pada tabel 3, ditunjukkan kandungan gizi ubi jalar, kacang hijau dan perhitungan secara teoritis akibat rasio yang berbeda-beda.

Tabel 3: Kandungan lemak, protein, karbohidrat dan kalsium dari ubi jalar, kacang hijau dan produk sereal secara teoritis per 100 gram bahan.

Jenis kandungan	Ubi Jalar (Gram)	Kacang hijau (Gram)	Produk Sereal I (Gram)	Produk sereal II (Gram)	Produk sereal III (Gram)
Lemak	0,7	1,15	0,925	0,88	0,86
Protein	1,8	23,86	12,83	10,62	8,42
Karbohidrat	27,9	62,62	45,26	41,79	38,32
Kalsium	$49 \cdot 10^{-3}$	$132 \cdot 10^{-3}$	$90,5 \cdot 10^{-3}$	$82,2 \cdot 10^{-3}$	$73,9 \cdot 10^{-3}$

Penentuan kandungan lemak dilakukan menggunakan metode Soxhletasi dengan pelarut n-heksana. Hasil eksperimen kandungan lemak untuk ketiga produk tersebut berturut-turut adalah : 14,07 gram; 12,90 gram; dan 12,94 gram. Harga tersebut lebih besar dari hasil perhitungan secara teoritis yang menunjukkan angka 0,925 gram; 0,88 gram; 0,86 gram. Hal yang menyebabkan kandungan lemak hasil eksperimen lebih besar dari harga teoritis adalah adanya penambahan margarin dan coklat selama produksi sereal. Oleh karena yang dihitung adalah kandungan lemak total, maka kedua bahan tersebut meningkatkan kandungan lemak totalnya.

Berikutnya adalah analisis hasil kandungan karbohidrat. Analisis kandungan karbohidrat dilakukan menggunakan metode Luff Schorll, yang didasarkan pada monosakarida dalam sampel dapat mereduksi Cu^{+2} menjadi Cu^{+} (SNI 01-2981-1992). Hasil eksperimen menunjukkan kandungan karbohidrat adalah 44,418 gram; 43,755 gram; 44,373 gram, sementara itu hasil perhitungan secara teoritis menunjukkan angka berturut-turut adalah 45,26 gram ; 41,79 gram dan 38,32 gram. Hasil eksperimen menunjukkan angka yang tidak berbeda jauh dari hasil perhitungan secara teoritis. Produk sereal I menurun 0,842 gram, sedangkan produk sereal II dan Produk sereal III memiliki kandungan karbohidrat 2,583 gram dan 6,053 gram lebih besar dari perhitungan teoritis. Hal tersebut diduga disebabkan ketidak homogenitas ubi jalar yang digunakan atau adanya kandungan karbohidrat dalam margarin maupun coklat yang ditambahkan, sementara kita abaikan pada perhitungan secara teoritis.

Kandungan gizi yang dianalisis selanjutnya adalah kandungan protein pada ketiga sampel produk sereal. Analisis kandungan protein dilakukan menggunakan metode Kjeldahl. Jika kita bandingkan kandungan protein hasil analisis ketiga sampel dengan hasil perhitungan secara teoritis maka diperoleh hasil ketiga produk sereal berturut-turut adalah: 5,64 gram; 5,22 gram dan 3,16 gram. Harga tersebut lebih kecil dari hasil perhitungan secara teoritis yaitu berturut-turut 12,83 gram; 10,62 gram dan 8,42 gram. Dari hasil analisis didapat bahwa kandungan protein tertinggi didapat pada produk sereal I, sekalipun harga tersebut lebih kecil dari perhitungan kadar secara teoritis. Tingginya kandungan protein disebabkan oleh besarnya kacang hijau yang ditambahkan, semakin banyak kacang hijau yang ditambahkan maka semakin besar pula kandungan proteinnya. Kacang hijau mengandung protein sebesar 23,86 gram per 100 gram bahan. Kandungan protein dalam syarat mutu SNI 01-3842-1995 digolongkan berdasarkan cara penyajiannya, yaitu penambahan susu dan tanpa penambahan susu. Produk sereal I memiliki kandungan protein 5,64 % mendekati pada harga kandungan protein sebesar 6%

yang disyaratkan oleh SNI 01-3842-1995 untuk sereal yang disajikan dengan penambahan susu.

Defisiensi kandungan protein dari ketiga produk sereal diduga disebabkan karena pengaruh dari pengeringan dengan cara pemanggangan. Karena cara ini dapat menyebabkan terjadinya perubahan warna bahan menjadi coklat. Proses pencoklatan ini tergolong pada pencoklatan non enzimatis, terjadi antara asam amino dengan gula pereduksi membentuk senyawa melanoidin. Reaksi antara asam amino dengan gula pereduksi ini akan dapat menurunkan kandungan protein dalam produk (Winarno, 1980).

Kandungan abu, merupakan residu setelah suatu bahan pangan dibakar hingga bebas karbon. Kadar abu dalam suatu bahan pangan menggambarkan banyaknya mineral yang terkandung dalam bahan pangan tersebut. Semakin banyak kadar abu suatu bahan pangan semakin tinggi kandungan mineralnya (Tejasari, 2005).

Kadar abu yang didapat berkisar antara 5,5 s/d 5,0 mgram per 100 gram bahan. Kandungan abu ini menggambarkan kandungan mineral dari suatu bahan. Hal tersebut berarti bahwa sereal produk I, memiliki kandungan mineral tertinggi. Kandungan abu suatu makanan menunjukkan jumlah kandungan mineralnya, dimana jumlah mineral adalah jumlah bahan anorganik yang terdapat dalam makanan, seperti Ca, Na, K dan Cl.

Hasil analisis kandungan mineral kalsium menunjukkan bahwa produk sereal III memiliki kandungan terbesar, yaitu 2,78 mg. Hal tersebut berbanding terbalik dengan kandungan abunya dimana sereal produk III memiliki kandungan abu terendah dibandingkan kedua produk lainnya. Secara teoritis kandungan mineral yang diharapkan adalah 73,9 mg. Menurunnya jumlah mineral yang didapat dari hasil percobaan disebabkan hilangnya mineral selama pemrosesan, yaitu selama penepungan ubi jalar perendaman akan mengakibatkan kalsium ikut terlarut dalam air. Selain itu diduga adanya mineral kalsium yang tidak ikut teratomisasi pada saat pengukuran, sehingga sehingga tidak terdeteksi oleh alat spektroskopi serapan atom.

4 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian didapat bahwa :

1. Ubi jalar dapat digunakan untuk produksi sereal yang terfortifikasi kacang hijau.
2. Sereal yang memiliki karakteristik aroma, rasa, warna dan kerenyahan terbaik adalah produk sereal III, yaitu sereal yang dibuat dengan rasio ubi jalar : kacang hijau sebesar 70:30. Sereal tersebut memiliki kadar kalsium tertinggi 2,78 mg dibanding kedua produk sereal lainnya.

3. Produk sereal I memiliki kadar abu, karbohidrat, protein dan lemak lebih tinggi dari produk sereal lainnya.

PUSTAKA

- [1] Artisna G, Siti (2006) *Produksi dan analisis kandungan gizi sereal berbahan baku tepung beras dengan penambahan biji kecipir*, skripsi, Fakultas pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UPI: Tidak diterbitkan
- [2] Sutomo,Budi (2006). *KANDUNGAN GIZI UBI JALAR MERAH , VITAMIN A-NYA MENCAPAI 2310 mcg. GIZI DAN KULINER*. [online] Tersedia : <http://budiboga.blogspot.com/2006/07/kandungan-gizi-ubi-jalar-merah-vitamin.html>. [13 Desember 2006]
- [3] SNI 01-2891-1992. Cara Uji Makanan dan Minuman
- [4] SNI 01-3842-1995. Makanan Pelengkap Serealia Instan Untuk bayi dan anak.
- [5] Tejasari. 2005 nilai Gizi Pangan. Cetakan Pertama. Ygyakarta : Graha ilmu.
- [6] Wikipedia Team. (2007). Breakfast Cereal. Wikipedia Foundation. [Online] tersedia : http://en.wikipedia.org/wiki/Breakfast_cereal. [4 Juli 2007]
- [7] Winarno, F.G. 1980 Pengantar teknologi Pangan. Jakarta : P.T Gramedia Utama
- [8] Winarno. F.g. 1992 Kimia Pangan dan Gizi. Jakarta : P.T Gramedia Utama.

ANALISIS INHIBISI ENZIM α -GLUKOSIDASE DAN SITOTOKSISITAS EKSTRAK AIR-ETANOL BENALU JERUK (*LORANTHUS SP.*)

Waras Nurcholiz^{1,2*}, Hilmanie Ramadhan¹, Anna P Roswiem¹

Departemen Biokimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor¹

wnurcholis@gmail.com*

Pusat Studi Biofarmaka, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor, Bogor²

ABSTRAK

Benalu (*Loranthus sp.*) merupakan tumbuhan parasit pada batang tumbuhan lain. Benalu memiliki beberapa khasiat dalam kesehatan yaitu menanggulangi hipertensi dan diabetes sebagai antioksidan, antikanker dan lain sebagainya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas secara *in vitro* pada inhibisi enzim α -glukosidase dan sitotoksitas dari ekstrak air, etanol 30%, etanol 70% dan etanol 96% benalu dari jeruk. Aktivitas α -glukosidase ditentukan dengan mengukur pelepasan p-nitrofenol dari pNPG pada 400 nm. Sitotoksitas diukur dengan menggunakan *brine shrimp lethality test* (BSLT). Hasil penelitian menunjukkan ekstrak etanol 70% benalu jeruk merupakan ekstrak yang paling potensial dalam menginhibisi enzim α -glukosidase (IC_{50} , 65.15 ppm) yang diikuti oleh ekstrak etanol 96%, 30% dan air dengan nilai IC_{50} berurutan adalah 70.71, 180.00 dan 3488 ppm. Nilai LC_{50} untuk BSLT dalam rentang 648.15 sampai 978.85 ppm, dengan ekstrak etanol 30% dan 96% benalu jeruk secara berurutan memiliki nilai terendah dan tertinggi. Nilai IC_{50} dan LC_{50} yang rendah mengindikasikan potensi antidiabetes dan farmakologi yang baik, secara berurutan dari ekstrak air-etanol benalu jeruk. Berdasarkan hal tersebut, benalu jeruk merupakan sumber yang potensial sebagai tanaman obat dan untuk antidiabetes.

Katakunci: Benalu, Jeruk, Antidiabetes, BSLT, α -glukosidase

1 PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya tumbuhan obat, salah satunya adalah Benalu yang merupakan salah satu tumbuhan yang dapat dimanfaatkan sebagai obat [1]. Benalu merupakan tumbuhan semi-parasit dari keluarga Loranthaceae, Santalaceae dan Viscaceae dan saat ini 44 spesies telah diidentifikasi di pulau Jawa, Indonesia [2]. Secara tradisional Benalu dapat berkhasiat sebagai antioksidan, antikanker, antidiabetes, dan lain sebagainya [3, 4]. Tumbuhan Benalu secara lokal diberi nama sesuai dengan tumbuhan inangnya, misalnya Benalu Kepel, Benalu Kedondong, Benalu Srikaya, dan Benalu Teh merupakan beberapa benalu yang telah terbukti dapat berkhasiat dalam pengobatan sebagai antioksidan dan antidiabetes [1].

Benalu Jeruk merupakan tumbuhan benalu yang banyak tumbuh di Indonesia dan saat ini studi atau eksplorasi khasiat obat dari Benalu Jeruk belum banyak ditemukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi aktivitas khasiat sitotoksitas dan antidiabetes secara *in vitro* Benalu Jeruk yang diekstrak dengan menggunakan pelarut air, etanol 30%, etanol 70% dan etanol 96%. Sitotoksitas dilakukan dengan menggunakan *brine shrimp lethality test* (BSLT) [5]. Metode ini sering digunakan untuk uji pendahuluan sebelum pengujian sitotoksitas menggunakan *cancer cell line*. Sedangkan aktivitas antidiabetes diukur dengan menggunakan uji inhibisi pada enzim α -glukosidase [6]. α -glukosidase merupakan enzim yang mengkatalisis pemutusan ikatan glikosidik pada oligosakarida. Senyawa yang memiliki kemampuan dalam menghambat aktivitas enzim tersebut dianggap memiliki aktivitas antidiabetes karena dapat mencegah hiperglikemia postprandial dengan menurunkan laju degradasi karbohidrat menjadi glukosa [7].

2 METODE PENELITIAN

Preparasi Sampel

Benalu Jeruk dikeringkan dalam oven dengan suhu 40-50°C selama 4 hingga 5 hari. Simplisia benalu jeruk yang sudah kering kemudian digiling hingga berukuran 80 mesh (dengan kadar air $\leq 10\%$). Sampel yang berbentuk serbuk diproses dengan metode ekstraksi secara maserasi [8]. Sebanyak 30 g simplisia Benalu Jeruk dimaserasi dengan 150 mL pelarut air, etanol 30%, etanol 70%, dan etanol 96% selama 24 jam. Semua maserat yang diperoleh dikumpulkan dan diuapkan menggunakan penguap putar Buchii R-114 dan rotary evaporator sampai diperoleh ekstrak kental menyerupai pasta yang digunakan sebagai sampel untuk analisis selanjutnya. Rendemen ekstrak tertinggi diperoleh dari pelarut etanol 96% sebesar 66.23% diikuti oleh pelarut etanol 70% (47.20%), air (44.03%), dan etanol 30% (31.47%).

Brine Shrimp Lethality Test (BSLT)

Aktivitas sitotoksitas ditentukan dengan menggunakan metode BSLT [5]. Air laut dimasukkan dalam wadah kecil. Sedikit telur udang *Artemia salina* dimasukkan kedalam wadah kecil tersebut, diberi aerator, dan lampu untuk menarik udang. Setelah dua hari, telur udang akan menetas menjadi udang-udang kecil yang disebut nauplii dan siap digunakan untuk melakukan pengujian. Sepuluh ekor larva udang dimasukkan dalam vial yang didalamnya terdapat sampel uji dengan konsentrasi 10, 100 dan 1000 ppm. Setelah 24 jam, jumlah larva udang yang mati untuk tiap-tiap konsentrasi dihitung dan

dicatat. Selanjutnya nilai LC₅₀ dihitung melalui metode analisis probit dengan software SPSS. Suatu zat dikatakan aktif atau toksik bila nilai LC₅₀ < 1000 ppm untuk ekstrak dan ≤ 30 ppm untuk suatu senyawa murni [9].

Aktivitas Inhibisi Enzim α -Glukosidase

Aktivitas inhibisi enzim α -glukosidase ditentukan berdasarkan metode [6]. Pengujian terhadap daya hambat aktivitas enzim α -glukosidase menggunakan substrat p-nitrofenil- α -D-glukopiranosida (p-NPG) dan enzim α -glukosidase. Pada pengujian tersebut α -glukosidase akan menghidrolisis substrat p-NPG menjadi glukosa dan p-nitrofenol yang berwarna kuning. Sampel yang ditambahkan ke dalam campuran substrat diharapkan akan menghambat kerja enzim sehingga mengurangi terbentuknya glukosa dan intensitas warna kuning yang terbentuk.

Larutan enzim dibuat dengan melarutkan 1.0 mg enzim α -glukosidase dalam larutan bufer fosfat (pH 7) yang mengandung 200 mg *Bovine Serum Albumin* (BSA). Sebelum digunakan enzim diencerkan 25 kali dengan bufer fosfat (pH 7). Campuran pereaksi terdiri atas 250 μ L p-nitrofenil- α -D-glukopiranosida (p-NPG) 20 mM sebagai substrat, 490 μ L larutan bufer fosfat (pH 7) 100 mM, dan 10 μ L larutan contoh dalam DMSO 1% (b/v). Kemudian campuran tersebut diinkubasi pada suhu 37°C selama 5 menit, setelah itu ditambahkan larutan enzim sebanyak 250 μ L dan diinkubasi kembali selama 15 menit. Reaksi enzim dihentikan dengan menambahkan Na₂CO₃ 200 mM sebanyak 1000 μ L. Kemudian larutan diukur pada panjang gelombang 400 nm dengan ELISA reader.

Kontrol positif dengan menggunakan obat komersial *Acarbose* dengan mekanisme spesifik dalam menghambat enzim α -glukosidase. Tablet *acarbose* (glukobay) dilarutkan dalam bufer dan HCl 2N (1:1) dengan konsentrasi 1% (b/v) sebagai blanko, kemudian disentrifus dan supernatan diambil sebanyak 10 μ L dan dimasukkan ke dalam campuran reaksi seperti dalam sampel. Hasil campuran tersebut diukur dengan ELISA reader pada panjang gelombang 400 nm. Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali ulangan dan dihitung dalam % inhibisi dengan rumus:

$$\% \text{ inhibisi} = \frac{C - S}{C} \times 100\%$$

C adalah absorban larutan tanpa adanya ekstrak (kontrol) dan S adalah absorban larutan dengan pemberian ekstrak dari sampel.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian aktivitas sitotoksitas dalam LC₅₀ dan antidiabetes dalam IC₅₀ dari ekstrak air, etanol 30%, etanol 70%, dan etanol 96% Benalu Jeruk. Nilai LC₅₀ dan IC₅₀ semakin kecil menunjukkan aktivitas yang semakin tinggi. Aktivitas sitotoksitas ekstrak dari keempat pelarut menunjukkan bahwa semua ekstrak memiliki potensi hayati yang tinggi karena menurut [9] menyatakan bahwa suatu zat dikatakan memiliki potensi hayati bila nilai LC₅₀ <1000 ppm untuk ekstrak suatu bahan hayati. Semua ekstrak Benalu Jeruk memiliki potensi hayati yang lebih tinggi dibandingkan ekstrak metanol dan air dari Benalu Kepel, Benalu Kedondong, Benalu Srikaya, dan Benalu Teh dengan nilai LC₅₀ yang > 1000 ppm [1]. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak Benalu Jeruk berpotensi untuk dapat dimanfaatkan sebagai antikanker [5].

Tabel 1 Hasil uji aktivitas sitotoksitas dan antidiabetes ekstrak Benalu Jeruk

Ekstrak Benalu Jeruk	Sitotoksitas	Antidiabetes
	LC ₅₀ (ppm)	IC ₅₀ (ppm)
Air	699.92	3488
Etanol 30%	648.15	180
Etanol 70%	864.60	65.15
Etanol 96%	978.85	70.71
		<i>Acarbose</i> (0.04)

Hasil uji aktivitas antidiabetes ekstrak Benalu Jeruk menunjukkan bahwa berdasarkan [10] ekstrak etanol 70% dan 96% aktif menghambat enzim α -glukosidase dengan nilai IC₅₀ secara berurutan adalah 65.15 dan 70.71 ppm. Inhibisi sedang terhadap enzim α -glukosidase dihasilkan oleh ekstrak Benalu Jeruk dari pelarut etanol 30% dengan nilai IC₅₀ sebesar 180 ppm. Sedangkan ekstrak air Benalu Jeruk tidak aktif dalam menghambat enzim α -glukosidase dengan nilai IC₅₀ sebesar 3488 ppm. Ekstrak Benalu Jeruk masih ekstrak kasar sehingga jika dibandingkan dengan kontrol positif (*Acarbose*) dengan nilai IC₅₀ sebesar 0.04 ppm sangat aktif dalam menghambat enzim α -glukosidase maka masih sangat jauh aktivitas yang dimiliki oleh ekstrak Benalu Jeruk.

4 KESIMPULAN

Ekstrak air, etanol 30%, etanol 70% dan etanol 96% dari Benalu Jeruk memiliki aktivitas sitotoksitas tinggi dan berpotensi untuk digunakan dalam pengobatan kanker.

Aktivitas antidiabetes dari Benalu Jeruk yang potensial dihasilkan oleh ekstrak etanol 70% dan 96%.

PUSTAKA

- [1] Artanti N, Firmansyah T, Darmawan A. 2012. Bioactivities evaluation of Indonesian mistletoes (*Dendrophthoe pentandra* (L.) Miq.) leaves extracts. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 02 (01): 24-27.
- [2] Windari FI, Rahajoe JS. 1998. Biodiversity of mistletoe in Java Island. *Warta Tumbuhan Obat Indonesia* 4: 25-29.
- [3] Ishizu T, Winarno H, Tsujino E, Morita T, Shibuya H. 2002. Indonesian Medicinal Plants. XXIV. Stereochemical structure of Perseitol-K⁺ complex isolated from the leaves of *Scurrula fusca* (Loranthaceae). *Chem. Pharm. Bull.* 50 (4): 489-492
- [4] Osadebe PO, Okide GB, Akabogu IC. 2004. Study on anti-diabetic activities of crude methanolic extracts of *Loranthus micranthus* (Linn.) sourced from five different host trees. *J Ethnopharmacol.* 95(2-3):133-138.
- [5] Meyer BN, Ferrigni NR, Putnam JE, Jacobsen JB, Nicholsand DE, McLaughlin JL. 1982. Brine shrimp; a convenient general bioassay for active plant constituents. *Planta Medica* 45: 31-34
- [6] Sugiwati S. 2005. Aktivitas antihiperlipemik dari ekstrak buah mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa* (Scheff) Boerl.) sebagai inhibitor α -glukosidase in vitro dan in vivo pada tikus putih. [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- [7] Kim YM, Wang MH, Rhee HI. 2004. A novel α -glucosidase inhibitor from pine bark. *Carbohydrate Res.* 339: 715-717.
- [8] [BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2004. Monografi Ekstrak Tumbuhan Obat Indonesia. Volume 1. Jakarta: Badan POM RI.
- [9] Juniarti, Osmeli D, Yuhernita. 2009. Kandungan senyawa kimia, uji toksisitas (*brine shrimp lethality test*) dan antioksidan (*1,1-diphenyl-2-pikrilhydrazyl*) dari ekstrak daun saga (*Abrus precatorius* L.). *Makara Sains* 13:50-54.
- [10] Jun *et al.* 2003. Comparison of antioxidant activities of isoflavones from kudzu root (*Pueraria lobata* Ohwi). *J. Food Sci. Institute of Technologist.* 68: 2117-2122.

**STUDI *IN VIVO* KHASIAT ANTIINFLAMASI EKSTRAK HERBA
SURUHAN (*PEPEROMIA PELLUCIDA*[L]) DAN CAMPURANNYA
DENGAN JAHE MERAH
(*ZINGIBER OFFICINALE ROSC.*)**

Sulistiyani^{1,2*}, Esti Sahifah³, Shelly Rahmania³, Husnawati¹

¹Departemen Biokimia FMIPA IPB

^{2*}Pusat Studi Biofarmaka LPPM IPB

sulistiyani_sapardi@yahoo.com

³Mahasiswa Departemen Biokimia FMIPA IPB

ABSTRAK

Herba suruhan dilaporkan memiliki potensi antiinflamasi, namun pemanfaatannya belum dilakukan secara maksimal. Selain herba suruhan, tanaman yang dapat digunakan sebagai antiinflamasi adalah jahe merah. Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas formula campuran ekstrak herba suruhan dan jahe merah dalam menghambat peradangan secara *in vivo*. Sebanyak 24 ekor tikus dibagi menjadi enam kelompok, berturut-turut dicekok dengan: CMC 0.5%, natrium diklofenak 1.25 mg/kgBB, herba suruhan 100 mg/kgBB, herba suruhan 117.5 mg/kgBB, campuran ekstrak formula 1, dan campuran ekstrak formula 2. Volume edema kaki tikus yang diinduksi karagenan diamati selama 6 jam masa percobaan menggunakan alat pletismometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karagenan 1% mampu menginduksi edema telapak kaki tikus yang mencapai maksimum tiga jam setelah pemberiannya. Campuran ekstrak herba suruhan-jahe merah berkhasiat sebagai antiinflamasi secara *in vivo*, yang kemampuannya sebanding dengan obat antiinflamasi komersil natrium diklofenak dan memiliki efektivitas yang lebih baik daripada ekstrak tunggalnya. Persentase daya antiinflamasi campuran ekstrak formula 1 dan formula 2 masing-masing sebesar 33.69% dan 28.31%. Selain itu, campuran ekstrak herba suruhan-jahe merah juga mampu menurunkan jumlah leukosit yang lebih besar dari natrium diklofenak. Berdasarkan analisis fitokimia, campuran ekstrak ini banyak mengandung komponen flavonoid, fenolik, alkaloid, dan tanin.

Kata kunci: Herba suruhan, jahe merah, antiinflamasi, karagenan.

1 PENDAHULUAN

Salah satu tanaman yang berpotensi dikembangkan sebagai antiradang adalah herba suruhan (*Peperomia pellucida* [L]). Di Indonesia pemanfaatan herba suruhan belum dilakukan secara maksimal karena hanya dianggap sebagai tumbuhan liar, padahal komponen senyawa bioaktifnya sangat beragam. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wijaya dan Monica^[1] herba suruhan memiliki efek antiinflamasi tertinggi pada dosis 2500 mg/kg BB. Tanaman lain yang juga berkhasiat antiradang adalah jahe merah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yustinus^[2], ekstrak etanol rimpang jahe merah pada konsentrasi 100 ppm menunjukkan daya inhibisi sebesar 23.81% terhadap aktivitas siklooksigenase-2. Mudrikah^[3] melaporkan bahwa campuran ekstrak jahe merah dan herba suruhan dapat menurunkan konsentrasi asam urat sebesar 42.02%. Campuran

ekstrak jahe merah dan herba suruhan sebagai antioksidan juga telah diteliti oleh Safaati^[4] dengan potensi antioksidan sebesar 24.43%. Adanya senyawa bioaktif dari campuran keduanya membuka peluang pengembangannya untuk pengobatan berbagai macam penyakit, salah satunya sebagai antiinflamasi. Namun, belum ada penelitian ilmiah yang membuktikan bahwa campuran kedua tanaman tersebut mampu menghambat proses inflamasi secara *in vivo*.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas formula campuran ekstrak herba suruhan dan jahe merah dalam menghambat peradangan pada tikus percobaan. Hipotesis penelitian ini ialah bahwa formula ekstrak herba suruhan berbasis jahe merah mampu menghambat peradangan secara *in vivo*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai khasiat antiinflamasi formula campuran ekstrak herba suruhan dalam ramuan berbasis jahe merah secara *in vivo*, sehingga bisa dikembangkan menjadi alternatif obat alami antiinflamasi.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Persiapan Sampel Herba Suruhan dan Jahe Merah^[5]

Herba suruhan dimaserasi dengan pelarut etanol 70% kemudian dipekatkan dengan *rotary evaporator* hingga diperoleh ekstrak berupa pasta. Jahe merah direfluks dengan pelarut air kemudian dipekatkan dengan *freeze dryer* hingga berupa serbuk.

2.2 Uji Fitokimia

Ekstrak pekat herba suruhan dan jahe merah masing-masing dianalisis kandungan fitokimianya menggunakan metode Harborne yang meliputi uji kandungan flavonoid, fenolik, alkaloid, tanin, saponin, steroid, dan terpenoid^[6].

2.3 Dosis Ekstrak dan Pembuatan Campuran Ekstrak

Dosis ekstrak yang digunakan adalah dosis tradisional^[7] dan dosis berdasarkan aktivitas terhadap enzim siklooksigenase-2 (uji *in vitro*)^[5]. Dosis tradisional jahe merah (15 g/hari) dan herba suruhan segar (30 g/hari)^[7] dikonversikan berdasarkan rendemen masing-masing ekstrak. Dosis tradisional campuran ekstrak herba suruhan-jahe merah dibuat dengan cara mencampurkan 117.5 mg/kg BB ekstrak pekat herba suruhan dan 53.48 mg/kg BB ekstrak jahe merah (formula 1). Adapun dosis *in vitro* yang diuji adalah 100 mg/kg BB ekstrak tunggal herba suruhan, dan 175 mg/kg BB campuran ekstrak herba suruhan-jahe merah (87.5 mg/kg BB ekstrak herba suruhan : 87.5 mg/kg BB ekstrak jahe merah, disebut formula 2).

2.4 Hewan Coba dan Rancangan Percobaan^[8]

Tikus jantan galur *Wistar* berumur 2 bulan diadaptasikan satu bulan lalu dibagi acak menjadi enam (n=4 ekor/kelompok) sebagai berikut: kelompok I dicekok larutan CMC 0.5% (kontrol inflamasi), kelompok II dicekok natrium diklofenak (1.25 mg/kg BB), kelompok III dicekok ekstrak tunggal herba suruhan 100 mg/kg BB, kelompok IV dicekok ekstrak tunggal herba suruhan dosis tradisional (117.5 mg/kg BB), kelompok V dicekok ekstrak formula 1, dan kelompok VI dicekok ekstrak formula 2. Satu jam setelah perlakuan, semua hewan coba diinjeksi 0.1 mL karagenan 1% pada telapak kaki tikus. Volume kaki tikus diukur sebelum induksi (V_0) dan setiap jam selama 6 jam (V_u) menggunakan pletismometer. Volume edema dihitung dari selisih volume kaki tikus sebelum dan setelah induksi karagenan 1% pada waktu tertentu. Persentase daya antiinflamasi (penghambatan volume edema, %DAI) dihitung dari selisih total *Area Under the Curve* (AUC), yakni luas daerah di bawah kurva volume edema, antara kelompok tanpa perlakuan dan AUC kelompok perlakuan dibandingkan AUC kelompok tanpa perlakuan kali 100%^[8].

2.5 Analisis Jumlah Leukosit Darah^[1]

Darah tikus 0.5 mL diambil dari ujung ekor sebelum induksi karagenan 1% (sebagai kontrol) dan pada jam ke-4, jam ke-6, dan jam ke-8 setelahnya. Darah ditampung dalam tabung Eppendorf yang telah ditambahkan EDTA agar tidak menggumpal. Kemudian jumlah leukosit dihitung di bawah mikroskop menggunakan kamar hitung. Perhitungan :

$$AL = \frac{N}{V} \times P = \frac{N}{0.4} \times 20 = N \times 50$$

dengan AL = angka leukosit, N = jumlah sel yang ditemukan, V = volume bilik hitung, dan P = pengenceran.

2.6 Analisis Data

Setelah analisis *General Linier Model* (GLM), data tersebar normal dan homogen sehingga dilakukan analisis statistik selanjutnya. Analisis data AUC dan %DAI dilakukan dengan menggunakan analisis ragam (ANOVA) rancangan acak lengkap (RAL) pada tingkat kepercayaan 95% dan taraf $\alpha=0.05$ serta uji lanjut Duncan. Semua data dianalisis dengan program SPSS versi 16.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

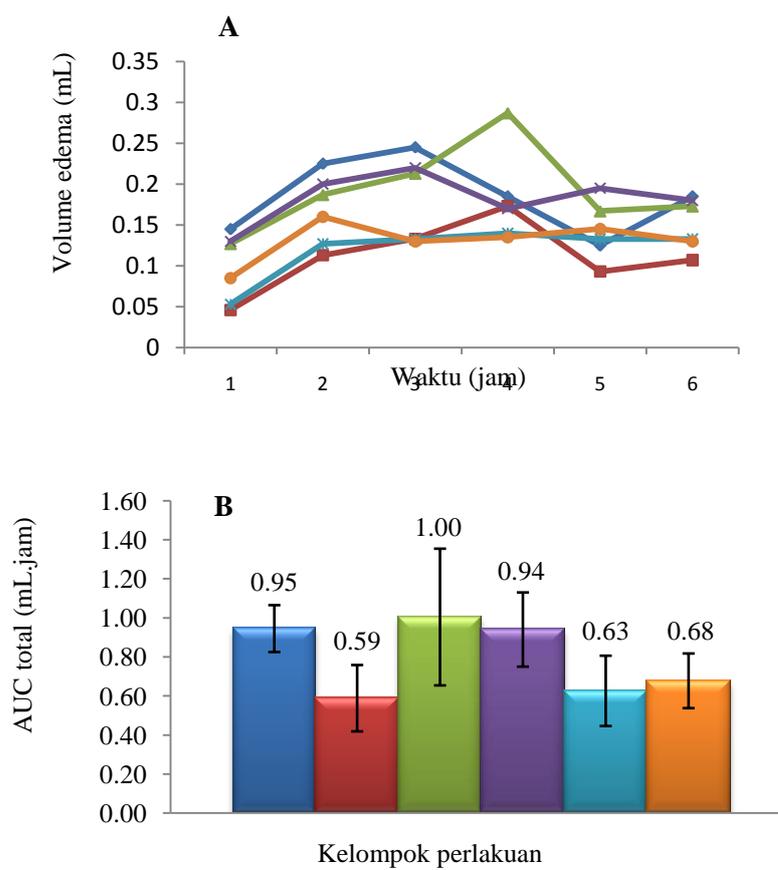
3.1 Ekstraksi dan Analisis Fitokimia

Serbuk simplisia herba suruhan (14 gram) diekstraksi menghasilkan ekstrak pekat herba suruhan sebanyak 3.29 gram (rendemen 23.5%), sedangkan serbuk simplisia jahe

merah (142.5 gram) direfluks menghasilkan ekstrak jahe merah sebanyak 30.48 gram (rendemen 21.39%). Analisis fitokimia terhadap kedua ekstrak menunjukkan bahwa ekstrak herba suruhan mengandung flavonoid, fenolik, alkaloid, tanin, saponin, dan steroid; sedangkan ekstrak jahe merah mengandung flavonoid, fenolik, alkaloid, tanin, dan terpenoid. Kandungan fitokimia ini konsisten laporan terdahulu oleh Mudrikah^[3].

3.2 Edema Kaki Tikus dan Persentase Daya Antiinflamasi

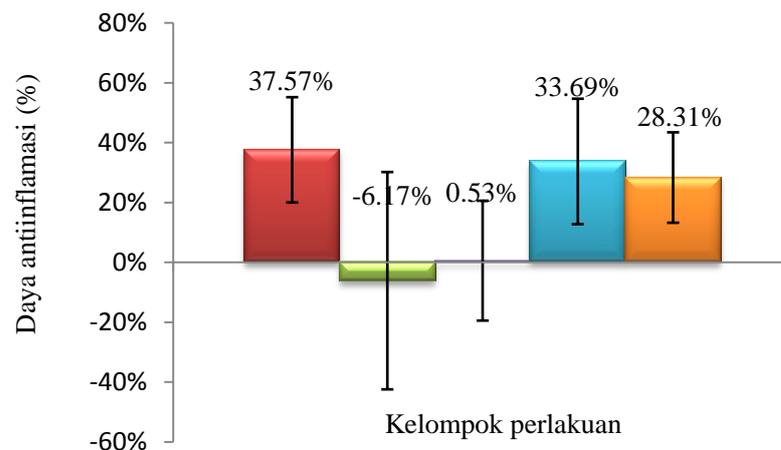
Gambar 1A menunjukkan bahwa karagenan 1% menginduksi peradangan di semua kelompok dan menyebabkan meningkatnya volume kaki tikus dan mencapai maksimum rata-rata tiga jam setelah induksinya. Profil kurva volume edema selama 6 jam masa percobaan memperlihatkan fluktuasi pada masing-masing kelompok. Hal ini diduga berhubungan dengan mekanisme respon tubuh berbeda yang diberikan oleh masing-masing hewan uji yang dapat disebabkan oleh perbedaan genetik dalam metabolisme obat atau mekanisme imunologi^[9]. Berdasarkan nilai total AUC, Gambar 1B memperlihatkan bahwa kelompok kontrol positif (natrium diklofenak) memiliki total volume edema relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan kelompok kontrol karagenan dan kelompok ekstrak. Sebaliknya kedua kelompok ekstrak tunggal herba suruhan tidak menunjukkan adanya khasiat antiinflamasi. Berbeda dengan ekstrak tunggal herba suruhan, campuran ekstrak herba suruhan-jahe merah memiliki nilai AUC yang relatif hampir sama dengan natrium diklofenak. Hal ini menunjukkan bahwa campuran ekstrak herba suruhan-jahe merah memiliki khasiat yang lebih baik dalam mengurangi inflamasi dibandingkan ekstrak tunggal herba suruhan dan kemampuannya sebanding dengan natrium diklofenak. Natrium diklofenak, yang merupakan derivat sederhana fenilasetat, adalah salah satu obat antiinflamasi nonsteroid yang dapat menekan respon inflamasi dengan cara menghambat enzim siklooksigenase.



Gambar 1 A) Kurva perbandingan volume edema rata-rata tiap kelompok terhadap waktu setelah induksi karagenan 1%. B) Nilai AUC total. Kontrol karagenan (■), natrium diklofenak (■), suruhan 100 mg/kg BB (■), suruhan 117.5 mg/kg BB (■), campuran ekstrak formula 1 (■), campuran ekstrak formula 2 (■)

Enzim ini mengatalisis sintesis prostaglandin yang merupakan penyebab rasa nyeri dalam peradangan^[9]. Akibat dari efek obat ini adalah menurunnya peradangan pada kaki tikus^[10]. Berdasarkan persentase daya antiinflamasi (Gambar 2), maka ekstrak tunggal suruhan dosis *in vitro* dan dosis tradisional belum bisa dibuktikan efek antiinflamasi secara *in vivo*. Sementara daya antiinflamasi campuran ekstrak herba suruhan-jahe merah formula 1 (berdasarkan hasil uji *in vitro*) sebesar 33.69% dan campuran ekstrak herba suruhan-jahe merah formula 2 (dosis tradisional) sebesar 28.31%. Daya antiinflamasi campuran ekstrak pada kedua formula tersebut hampir sebanding dengan khasiat antiinflamasi natrium diklofenak (1.25 mg/kg BB) yaitu sebesar 37.57%. Prayoga^[8] menggunakan natrium diklofenak dosis 2.25 mg/kg BB menghasilkan daya antiinflamasi sebesar 75.96%. Sementara itu, Sari dan Hakim^[11] melaporkan natrium diklofenak dosis 4.5 mg/kg BB menghambat inflamasi sebesar 91.30%. Penelitian Sulistiyani *et. al.*^[5] menunjukkan bahwa secara *in vitro* ekstrak herba suruhan pada

konsentrasi 100 ppm atau sebanding dengan dosis 100 mg/kg BB memiliki aktivitas penghambatan terhadap enzim COX-2 sebesar 47.54%. Penghambatan herba suruhan terhadap aktivitas enzim COX-2 secara *in vitro* juga menunjukkan hasil yang lebih baik daripada ekstrak tunggal jahe merah maupun campuran ekstrak herba suruhan- jahe merah yang persentase inhibisinya masing-masing sebesar 43.17% dan 15.18%. Ketidaksinergisan anata data *in vitro* dan *in vivo* ini bisa disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya yaitu ekstrak telah mengalami metabolisme dalam tubuh yang mengakibatkan berkurangnya aktivitas antiinflamasi^[12]. Wijaya dan Monica^[11] melaporkan bahwa ekstrak herba suruhan memiliki efek antiinflamasi secara *in vivo* pada dosis 1500 mg/kg BB sampai 2500 mg/kg BB. Sementara pada penelitian ini dosis herba suruhan yang digunakan jauh lebih kecil (15-25 kali lebih rendah) dari dosis tersebut. Kemampuan antiinflamasi campuran ekstrak herba suruhan-jahe merah yang lebih baik dari pada ekstrak tunggalnya secara *in vivo* dapat terjadi karena gabungan senyawa bioaktif yang saling mendukung dari kedua ekstrak tersebut mampu menghambat proses inflamasi. Efek antiinflamasi ini berasal dari khasiat berbagai senyawa metabolit sekunder yang dimiliki oleh keduanya seperti flavonoid^[13], tanin^[14], dan saponin^[15].

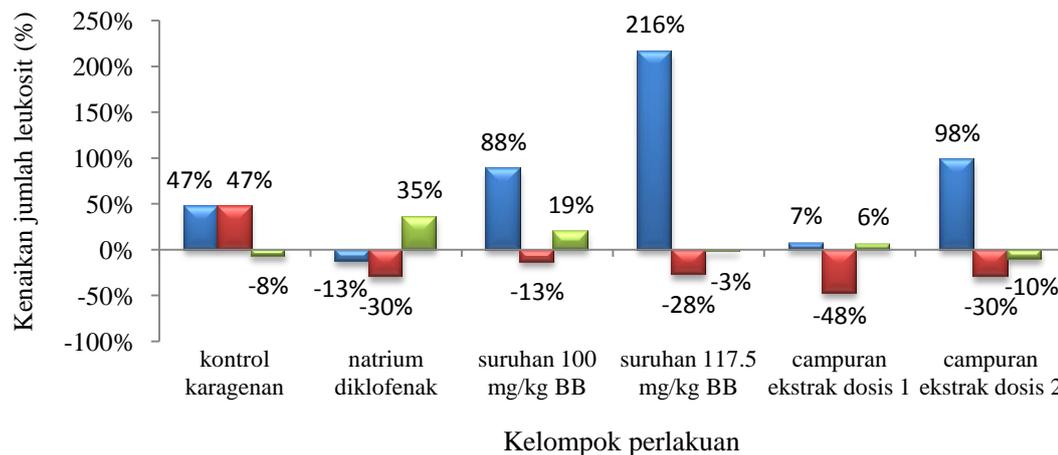


Gambar 3 Persentase daya antiinflamasi. Natrium diklofenak (), suruhan 100 mg/kg BB(), suruhan 117.5 mg/kg BB (), campuran ekstrak formula 1 (), campuran ekstrak formula 2 ()

3.3 Analisis Jumlah Leukosit Darah

Gambar 3 memperlihatkan efek ekstrak terhadap jumlah leukosit dari waktu ke waktu dalam persentase kenaikan yang dihitung dari selisih antara jumlah leukosit pada saat tertentu dan jumlah leukosit pada pengamatan jam sebelumnya. Adanya peradangan menyebabkan terjadinya migrasi leukosit ke daerah radang tersebut sehingga jumlah leukosit semakin bertambah^[16]. Khasiat antiinflamasi dari ekstrak ditentukan melalui penurunan jumlah leukosit yang terjadi akibat pemberian ekstrak. Data menunjukkan

bahwa jumlah leukosit pada kontrol karagenan cenderung meningkat setiap jamnya. Jam ke-4 menunjukkan peningkatan jumlah leukosit satu setengah kali lebih besar dibandingkan jam ke-0, demikian juga pada jam ke-6 terjadi peningkatan yang sama besarnya dengan jam ke-4. Hal ini adalah cerminan dari terjadinya migrasi leukosit ke daerah radang yang menyebabkan jumlahnya pun ikut meningkat^[10]. Pada jam ke-8 terjadi penurunan jumlah leukosit, yang mungkin disebabkan berkurangnya efek peradangan akibat induksi karagenan^[17]. Sebaliknya pemberian natrium diklofenak pada kontrol positif menyebabkan tertekannya jumlah leukosit hingga jam ke-6. Hal yang berbeda ditunjukkan oleh kelompok yang diberi perlakuan ekstrak. Semua kelompok perlakuan mengalami peningkatan jumlah leukosit terlebih dahulu hingga jam ke-4, setelah itu barulah jumlah leukosit semua kelompok perlakuan ekstrak cenderung menurun. Hal ini konsisten dengan timbulnya efek ekstrak yang membutuhkan waktu lebih lama dari natrium diklofenak untuk mengurangi peradangan.



Gambar3 Persentasekenaikanjumlahleukosit : jam ke-4(■),jam ke-6(■),jam ke-8(■)

Penurunan jumlah leukosit pada kelompok campuran ekstrak herba suruhan-jahe merah lebih besar dibandingkan dengan kelompok yang diberi ekstrak tunggal herba suruhan. Selain itu kelompok campuran ekstrak formula 1 (berdasarkan hasil *in vitro*) mampu menurunkan jumlah leukosit lebih besar dibandingkan dengan natrium diklofenak. Natrium diklofenak menurunkan jumlah leukosit sebesar 30%, sedangkan campuran ekstrak formula 1 mampu menurunkan jumlah leukosit hingga 48%. Penggabungan senyawa bioaktif dari herba suruhan dan jahe merah diduga menyebabkan campuran menjadi lebih efektif mengurangi peradangan yang timbul. Hasil ini konsisten dengan data edema telapak kaki dan sejalan dengan khasiat campuran ekstrak sebagai antioksidan^[4].

4 SIMPULAN

Ekstrak herba suruhan dan campurannya dengan jahe merah berkhasiat sebagai antiinflamasi secara *in vivo* yang kemampuannya sebanding dengan obat antiinflamasi komersil natrium diklofenak dan memiliki efektivitas yang lebih baik daripada ekstrak tunggalnya. Campuran ekstrak formula 1 mampu menghambat inflamasi sebesar 33.69% dan campuran ekstrak formula 2 sebesar 28.31%. Selain itu, campuran ekstrak herba suruhan-jahe merah mampu menurunkan jumlah leukosit yang lebih besar dari natrium diklofenak. Berdasarkan analisis fitokimia, efek antiinflamasi dapat disebabkan oleh komponen flavonoid, saponin, dan tanin yang terkandung di dalam ekstrak.

PUSTAKA

- [1] Wijaya S, Monica SW. 2004. Uji efek antiinflamasi ekstrak herba suruhan (*Peperomia pellucida* L. Kunth) pada tikus putih jantan. *Berk. Penel. Hayati* 9: 115-118.
- [2] Yustinus CS. 2010. Daya inhibisi ekstrak rimpang jahe merah dan kulit kayu manis terhadap aktivitas enzim siklooksigenase 2 dan enzim xantin oksidase secara *in vitro*. [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [3] Mudrikah F. 2006. Potensi ekstrak jahe merah dan campurannya dengan herba suruhan sebagai antihiperurisemia pada tikus [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [4] Safaati NS. 2007. Potensi ramuan jahe merah dan herba suruhan sebagai antioksidan pada tikus putih hiperurisemia [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [5] Sulistiyani, Husnawati, Rahmania S. 2012. Potensi campuran ekstrak suruhan (*Peperomia pellucida*) dan Jahe Merah (*Zingiber officinale*) sebagai antiinflamasi secara *in vitro*. Di dalam: *Prosiding Seminar Nasional Aspek Budaya, Kebijakan dan Filosofi Sains Jamu*; Bogor, 2 Oktober 2012. Bogor: Pusat Studi Biofarmaka LPPM IPB.
- [6] Harborne JB. 1987. *Metode Fitokimia: Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan*. Padmawinata K, Iwang S, Penerjemah. Bandung: ITB Pr. Terjemahan dari: *Phytochemical Methods*.
- [7] Wijayakusuma H. 2006. *Atasi Asam Urat dan Rematik Ala Humbing*. Jakarta: Puspa Swara.

- [8] Prayoga S.2008. Efek antiinflamasi ekstrak etanol daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus* Benth.) pada tikus putih jantan galur wistar [skripsi]. Surakarta: Fakultas Farmasi, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [9] Katzung BG. 2004. *Farmakologi Dasar dan Klinik Edisi 8*. Jakarta: Salemba Medika.
- [10] Wilmana PF. 1995. Analgesik, antipiretik, antiinflamasi dan antipirai dalam Ganiswara S G, Setiabudi R, Suyatna F D, Purwastyastuti, Nafrialdi: *Farmakologi dan Terapi ed.3*. Jakarta: Bagian Farmakologi Kedokteran Universitas Indonesia.
- [11] Sari IP, Hakim L. 1999. Pengaruh air perasan kubis (*Brassica oleraces* L.) terhadap terapi inflamasi dengan diklofenak. *Majalah Farmasi Indonesia 10*: 203-206.
- [12] Ma MK, Woo MH, McLeod HC. 2002. Genetic basic of drug metabolism. *Am J Health Syst Pharm 59*: 2061-2069.
- [13] Kurniawati, A. 2005. Uji aktivitas anti inflamasi ekstrak metanol *Graptophyllum griff* pada Tikus Putih. *Majalah Kedokteran Gigi Edisi Khusus Temu Ilmiah Nasional IV*: 167-170.
- [14] Khanbabaee, K. dan Ree, T. V. 2001. Tannins: classification and definition. *Nat Prod Rep*, 18: 641-649.
- [15] Simanjuntak P. 2008. Identifikasi senyawa kimia dalam buah mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*), Thymelaceae. *Jurnal ilmiah kefarmasian Indonesia 6*: 23-28
- [16] Guyton AC. 1996. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Edisi 17. Tengadi KA, penerjemah. Jakarta: EGC. Terjemahan dari: *Textbook of Medical Physiology*.
- [17] Baghdikian B *et al.* 1997. An analitical study, antiinflammatory and analgesic effects of *Hapagophytum procumbens* and *Harpagophytum zeyheri*. *Planta Medica 63*: 171-176.

POSTER

DESTRUKSI UNSUR TANAH JARANG DARI LIMBAH PENGOLAHAN TIMAH MENGGUNAKAN MIKROWAVE SEDERHANA

Nurul Ichsan^{1*}, Eti Rohaeti¹, Rudi Heryanto¹

Departemen Kimia FMIPA-IPB^{1*}
nichsan_3010@yahoo.com

ABSTRAK

Abstrak Unsur tanah jarang (UTJ) dalam keadaan murni banyak dimanfaatkan untuk peralatan elektronik berteknologi tinggi. Sumber UTJ diantaranya terdapat dalam hasil samping dari proses penambangan timah. Pada penelitian ini telah dicoba pemanfaatan microwave sederhana untuk mendestruksi contoh hasil samping dari penambangan timah di Belitung sebagai upaya dalam memperoleh UTJ murni. Parameter destruksi adalah: perbandingan contoh dengan NaOH, waktu, dan energi. Uji pendahuluan menggunakan XRF menunjukkan contoh mengandung lantanun (La) sebesar 377 ppm dan yttrium (Y) 125 ppm. Kondisi terbaik destruksi terjadi pada perbandingan contoh:NaOH, 35:65 dengan persen destruksi sebesar 19.96% dan 4.48% untuk La dan Y; waktu destruksi terbaik 30 menit dengan perolehan 27.95% La dan 4.61% Y; energi terbaik pada posisi *high* dengan perolehan 38.52% La dan 13.86% Y. Untuk memperoleh La, destruksi menggunakan microwave lebih baik dibandingkan menggunakan oven, tetapi sebaliknya dengan Y.

Katakunci: tanah jarang, lantanum, yttrium, microwave, destruksi

1 PENDAHULUAN

Unsur tanah jarang (UTJ) adalah kelompok unsur pada golongan lantanida. Material ini cukup berharga karena banyak diaplikasikan pada peralatan berteknologi canggih. Peralatan seperti superkonduktor, baterai isi ulang, transistor, katalis *cracking*, magnet permanen, radar, serat optik, dan layar komputer (LCD) telah menggunakan UTJ sebagai bagian dari komponennya [1]. Sumber utama dari UTJ dapat diperoleh dari mineral monasit, senotim dan basnasit [2] Di Indonesia, mineral yang mengandung UTJ banyak ditemukan pada hasil samping penambangan timah di Bangka, Belitung, Singkep, Riau dan Kalimantan [3]

Meningkatnya pemanfaatan UTJ pada bidang industri telah mengakibatkan berkembangnya upaya untuk memurnikannya. Logam-logam UTJ yang berasal dari mineral bumi perlu melalui beberapa proses sebelum dapat digunakan dalam keadaan murni. Tahapan proses yang biasa dilakukan untuk memperoleh UTJ murni adalah penghancuran, penggerusan, pemisahan dengan magnet, destruksi, dan pemurnian dari berbagai matrik mineral campurannya.

Destruksi merupakan tahap preparasi contoh yang berbentuk padatan sebelum contoh diberi perlakuan lain seperti pemisahan dengan ekstraksi pelarut atau resin penukar ion. Ini merupakan cara untuk membuat contoh menjadi bentuk yang larut. Destruksi dapat dilakukan secara terbuka ataupun secara tertutup. Destruksi terbuka dilakukan di dalam gelas piala atau biasa disebut destruksi basah, sedangkan destruksi tertutup atau destruksi kering dilakukan di dalam suatu wadah yang tahan terhadap pemanasan.

Destruksi mineral yang mengandung UTJ telah dilaporkan beberapa peneliti. El Nadi *et al.* [4] pada tahun 2004 telah mendestruksi mineral monasit untuk mendapatkan uranium yang terpisah dari UTJ. Senovita 2008 mendestruksi mineral UTJ untuk memisahkan lantanum dan cerium dalam mineral monasit. Proses destruksi yang dilakukan dalam bom teflon yang dipanaskan di dalam oven pada temperature 190°C selama 3 jam telah berhasil mendestruksi 31,9% Ce dan 13% La. Destruksi UTJ juga dapat dilakukan dengan alat microwave seperti yang telah dilaporkan Tsai & Yeh [5] di Taiwan. Destruksi ini berlangsung di dalam wadah teflon yang dilengkapi sistem pengatur tekanan serta menggunakan 90% energi pada alat microwave dalam waktu 25 menit. Lu *et al.* [6] melaporkan kondisi optimal destruksi pada energi 60% selama 30 menit dengan alat microwave berkekuatan 630 watt.

Tujuan penelitian ini mengkaji suatu proses destruksi mineral secara sederhana dengan menggunakan alat microwave yang hanya memiliki sistem pengatur energi dan waktu, (tanpa dilengkapi pengatur tekanan dan suhu). Destruksi dilakukan secara terbuka dalam wadah dari teflon yang dilapisi baja untuk menghindari kerusakan teflon akibat pemanasan. Parameter destruksi yang diamati meliputi perbandingan komposisi contoh berbanding NaOH, waktu, dan energi proses. Mineral contoh yang didestruksi berasal dari hasil samping penambangan timah di daerah Manggar, Belitung.

Berdasarkan penelitian ini dapat diketahui : Potensi alat microwave sederhana sebagai sumber energi untuk proses destruksi mineral UTJ. Parameter proses destruksi terbaik untuk melarutkan UTJ dalam contoh. Peluang mineral contoh sebagai sumber UTJ.

2 METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah. Alat utama, perangkat destruksi berupa wadah teflon beserta selubung bajanya (Gambar 1), microwave Sharp R200J 450W, oven, ICP AES tipe *IRIS Intrepid II XDL*, XRF tipe *ARL Advent⁺ XP*, pH-meter, mesin penggerus, penyaring vakum, neraca analitik, pH universal,

serta berbagai alat gelas laboratorium. Bahan utama adalah contoh hasil samping penambangan timah di Manggar, Belitung. NaOH sebagai bahan pendestruksi contoh, HCl 4M dan 0,001 M (pH 3), La₂O₃, Y₂O₃, HNO₃, air bebas ion, akuades, dan alkohol.

Lingkup kerja

Penelitian ini terdiri atas 4 tahapan utama, yaitu preparasi contoh, analisis komposisi unsur dalam contoh, destruksi contoh, dan analisis UTJ hasil destruksi. Tahap preparasi meliputi penggerusan dan pengayakan terhadap contoh sehingga diperoleh ukuran lolos 200 mesh. Kandungan unsur dalam contoh dianalisis dengan fluoresensi sinar-x, XRF. Destruksi microwave dengan beragam perbandingan komposisi contoh dan NaOH, waktu, dan energi. Destruksi ini menggunakan microwave yang hanya memiliki pengaturan waktu dan energi. Proses destruksi dilakukan dalam wadah teflon yang dimasukkan ke dalam wadah baja, dengan kondisi terbuka tanpa menggunakan tutup teflon maupun tutup baja (Gambar 1). Kadar UTJ ditentukan pada larutan akhir hasil destruksi dengan pH 3. Selain menggunakan microwave, destruksi juga dilakukan menggunakan oven. Destruksi ini pada satu komposisi perbandingan contoh dengan NaOH yaitu 35:65, menggunakan suhu 190°C [7].



Gambar 1. Perangkat alat destruksi dan teflon

Prosedur penyiapan contoh terdestruksi adalah sebagai berikut. Sejumlah bobot tertentu contoh lolos 200 mesh dicampurkan dengan NaOH dengan perbandingan seperti K1, K2 dan K3 dalam wadah teflon. Kemudian wadah diletakkan dalam microwave dan dilanjutkan dengan proses destruksi dengan penambahan energi dan waktu W1, W2 dan W3 sesuai Tabel 1. Selesai proses destruksi, campuran dilarutkan dalam volume tertentu HCl pada pH 3. Larutan hasil destruksi kemudian dianalisis dengan ICP-AES untuk menetapkan kadar UTJ terlarut dan menetapkan persen UTJ terdestruksi. Persen UTJ terdestruksi dihitung berdasarkan perbandingannya dengan kadarnya yang terbaca pada uji contoh menggunakan XRF.

Tabel 1. Variasi pada destruksi Microwave

Kode	Komposisi Contoh: NaOH	Waktu (menit)	Energi (Watt)
K1	35:65	30	450
K2	50:50	30	450
K3	65:35	30	450
W1	35:65	20	450
W2	35:65	25	450
W3	35:65	30	450
E1	35:65	30	270
E2	35:65	30	360
E3	35:65	30	450

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Komposisi Unsur dalam Contoh

Hasil analisis XRF menunjukkan contoh mengandung dua jenis UTJ yaitu La (lantanum) dan Y (yttrium) sebesar 0.0377% dan 0.0125%. Lima belas UTJ lain, yaitu Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Sc, dan Th tidak terdapat pada contoh. Komponen paling dominan adalah unsur Fe dengan jumlah 24.57% dan Ti sebesar 29.86%. Contoh juga mengandung unsur berharga lain seperti Zr sebesar 1.61%, Nb sebesar 0.0507%, dan sisa Sn sebesar 0.797% (Tabel 1). Unsur Zr, Nb, Sn dan Ti, sering dijadikan penanda ada atau tidaknya UTJ dalam mineral karena sering ditemukan ada bersama UTJ [3].

Komposisi contoh mirip dengan hasil samping pengolahan timah dari Bangka yang dilaporkan Pratiwi [8] yaitu paling dominan mengandung Ti dan Fe serta mengandung sedikit Zr, Nb, Mn dan Sn. Namun, hasil samping Bangka memiliki UTJ lebih banyak, yaitu La, Ce, Nd, Sc, dan Th, dengan jumlah yang lebih tinggi, serta terdapat unsur radioaktif U. Komposisi contoh sangat berbeda dibandingkan mineral monasit dari Bangka, yang dilaporkan Khaldun [9], contoh hanya mengandung La dan Y, sedangkan monasit Bangka mengandung semua jenis UTJ. Informasi penting lain adalah contoh tidak mengandung U dan Th. Kedua unsure radioaktif ini lazim ada pada mineral hasil penambangan timah Indonesia [3]. Kandungan La dan Y pada monasit Bangka jauh lebih besar dibandingkan yang terdapat dalam contoh. Ketiga data analisis XRF tersebut menunjukkan sisa penambangan timah masih mengandung UTJ dan cenderung mengandung Fe dan Ti yang paling dominan serta sedikit unsur penanda seperti Nb, Zr, atau Sn (Tabel 2).

Tabel 2 Perbandingan komposisi UTJ pada contoh (Belitung) dan Bangka

No	Unsur	Contoh	Hasil sampling Bangka *	Monas Bangka **	No	Unsur	Contoh	Hasil sampling Bangka *	Monas Bangka **
1	La	0.0377	0.165	17.74	15	Lu	-	-	0.22
2	Ce	-	0.336	34.61	16	Sc	-	0.0047	0.001
3	Pr	-	-	4.50	17	Y	0.0125	0.200	17.60
4	Nd	-	0.124	14.80	18	Zr	1.61	1.30	0.002
5	Pm	-	-	0	19	Nb	0.0507	0.206	0.001
6	Sm	-	-	2.73	20	Ti	29.86	33.32	-
7	Eu	-	-	0.01	21	Fe	24.57	18.39	-
8	Gd	-	-	2.19	22	Si	3.43	2.88	-
9	Tb	-	-	0.31	23	Mn	2.45	2.14	-
10	Dy	-	-	1.71	24	Sn	0.797	1.30	-
11	Ho	-	-	0.40	25	U	-	0.0127	0.008
12	Er	-	0.0271	1.17	26	Th	-	0.0955	0.05
13	Tm	-	-	0.21	27	Lainnya	0.691	1.4962	0.38
14	Yb	-	-	1.39					

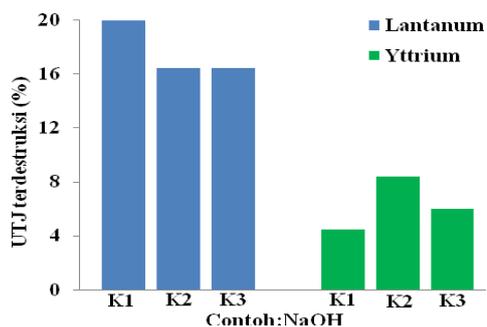
3.2 Pengaruh Komposisi Destruksi

Penambahan pereaksi NaOH yang tepat akan mengubah sifat kelarutan dari contoh. Berbagai oksida dan garam yang bersifat tidak mudah larut akan diubah menjadi bentuk garamnya yang bersifat lebih mudah larut dalam asam. Pelarutan hasil destruksi dipilih pada pH 3 sebab sebagian besar UTJ melarut pada pH tersebut [10]. Penambahan NaOH yang berlebihan akan menimbulkan semakin banyaknya HCl yang perlu ditambahkan untuk menetralkan dan mencapai pH 3, artinya berpeluang juga mengencerkan hasil destruksi yang kemudian dapat menyulitkan analisis atau pemekatan karena konsentrasinya menjadi kecil.

Penambahan NaOH yang menghasilkan persen La terdestruksi tertinggi ada pada perbandingan komposisi K1 atau perbandingan contoh : NaOH, 35:65. Jumlah La yang berhasil terdestruksi tertinggi ini sebesar 19.96% (Gambar 2). Variasi K1 untuk destruksi La sesuai dengan kondisi optimal yang pernah dilaporkan oleh Senovita [7]. Jumlah NaOH yang dibutuhkan akan selalu lebih banyak karena setiap UTJ akan

mengikat tiga buah basa saat peleburan. Hal tersebut dapat terbukti pada komposisi 50:50 dan 65:35, dengan hasil sekitar 16,5 lebih rendah.

Hal berbeda terjadi pada destruksi Y. Persen destruksi tertinggi terjadi pada komposisi K2 atau pada perbandingan 50:50 dengan nilai persen terdestruksi sebesar 8,42%. Nilai ini lebih tinggi dari K1 sebesar 4,5% dan K3 sebesar 6%. Jumlah Y yang dapat terdestruksi pada ketiga komposisi K1, K2, dan K3 nampak jauh lebih kecil dibandingkan destruksi untuk unsur La.



Gambar 2 Jumlah UTJ terdestruksi pada variasi komposisi NaOH.

Kandungan La dan Y pada contoh awal sebesar 377 ppm dan 125 ppm akan didestruksi ke dalam bentuk larutan berupa filtrat HCl dengan pH 3. Perlakuan awal dengan NaOH akan membuat mayoritas matrik logam ikut mengendap menjadi hidroksida bersama La dan Y, sedangkan matrik anionik menjadi bentuk garamnya. Matrik paling dominan, yaitu Ti dan Fe sebesar $\pm 30\%$ dan $\pm 20\%$, berpotensi memengaruhi proses destruksi karena dapat ikut mengendap menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan $\text{Ti}(\text{OH})_4$ karena NaOH. Perlakuan basa mengubah berbagai matrik pada contoh dalam bentuk hidoksidanya (Tabel 3).

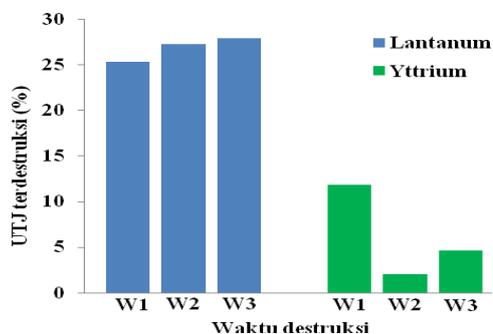
Tabel 3. Bentuk unsur dominan setelah perlakuan.

Unsur	Perlakuan	
	Basa	Asam
UTJ	$\text{Ln}(\text{OH})_3 (s)$	$\text{LnCl}_3 (l)$
Ti	$\text{Ti}(\text{OH})_4 (s)$	$\text{TiCl}_3 (l)$
Fe	$\text{Fe}(\text{OH})_3 (s)$	$\text{FeCl}_3 (l)$
Si	$\text{Na}_2\text{SiO}_3 (aq)$	Tetap
Mn	$\text{Mn}(\text{OH})_2 (s)$	$\text{MnCl}_3 (l)$
Zr	$\text{ZrO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} (s)$	Tetap
Sn	$\text{Na}_2\text{SnO}_3 (aq)$	$\text{SnCl}_3 (l)$

Sumber: [11]

3.3 Pengaruh Waktu Destruksi

Waktu destruksi menentukan pada kesempurnaan destruksi. Reaksi kimia dapat berlangsung dengan laju yang beragam sehingga untuk menunggu seluruh reagen atau contoh saling berinteraksi dan bereaksi diperlukan sejumlah waktu. Destruksi La optimal pada W3 atau waktu destruksi 30 menit. Jumlah La yang terdestruksi pada variasi tersebut sebesar 27.95% (Gambar 3). Destruksi La menunjukkan bahwa kenaikan waktu mengakibatkan jumlah La yang terdestruksi juga semakin bertambah. Hal tersebut sesuai seperti yang dilaporkan [7], UTJ terdestruksi semakin tinggi dengan Bertambahnya waktu destruksi, dari 1-3 jam. Kondisi optimal waktu destruksi La ini pesis sama seperti yang telah dilaporkan [6], yaitu selama 30 menit.



Gambar 3 Jumlah UTJ terdestruksi pada variasi waktu.

Kondisi berbeda kembali terjadi untuk destruksi Y, yang menunjukkan hasil optimal pada waktu paling kecil, yaitu selama 20 menit. Yttrium optimal terdestruksi sebesar 11.89%, jauh lebih besar dibanding W2 (25 menit) dan W3 (30 menit) yang keduanya tidak melebihi 5%.

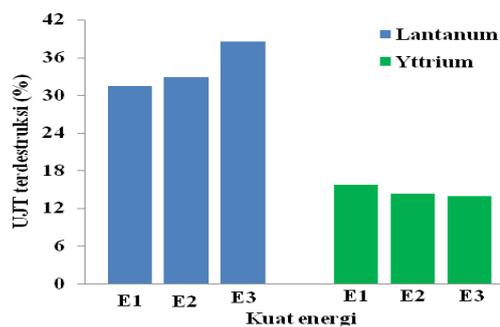
Kondisi berbeda kembali terjadi untuk destruksi Y, yang menunjukkan hasil optimal pada waktu paling kecil, yaitu selama 20 menit. Yttrium optimal terdestruksi sebesar 11.89%, jauh lebih besar dibanding W2 (25 menit) dan W3 (30 menit) yang keduanya tidak melebihi 5%. Hasil tidak konstan ini mengakibatkan untuk destruksi Y, waktu optimal destruksi tidak dapat ditentukan.

3.4 Pengaruh Energi Destruksi

Penggunaan microwave telah dilaporkan sebagai cara yang mengatasi kelemahan destruksi dengan cara panas maupun cara kering. Destruksi cara basah adalah sangat banyak menggunakan asam kuat sehingga asam ini dapat mengkontaminasi contoh yang akan didestruksi. Sementara kelemahan destruksi cara kering adalah seringkali membutuhkan suhu sangat tinggi yang berarti memboroskan energi.

Jumlah La terdestruksi optimal terjadi pada E3, yaitu energi microwave 450 Watt dengan La sebesar 38.52% (Gambar 4). Semakin besar daya listrik yang digunakan pada microwave semakin tinggi jumlah La yang terdestruksi.

Kondisi optimal energi destruksi untuk Y terjadi pada E1, yaitu pada daya 360 Watt . Yttrium terdestruksi sebesar 15.73% pada kondisi optimal tersebut. Yttrium yang terdestruksi terlihat semakin menurun secara konstan dengan bertambahnya energi microwave yang digunakan. Energi *medium* merupakan kondisi optimal karena telah cukup menghasilkan jumlah Y terdestruksi yang paling tinggi.



Gambar 4 Jumlah UTJ terdestruksi pada variasi energi.

3.5 Destruksi Oven

Destruksi pada oven dilakukan untuk membandingkan efektivitas dari setiap variasi komposisi, waktu, dan energi pada destruksi microwave dengan destruksi oven. Hal ini bertujuan agar dapat melihat proses destruksi yang menghasilkan nilai yang lebih baik. Destruksi oven dilakukan dengan kondisi optimal yang pernah dilakukan oleh Senovita [7] yaitu pada komposisi contoh NaOH 35:65 suhu 190°C dan lama destruksi 3 jam. Hasil menunjukkan persen UTJ yang terdestruksi untuk La lebih rendah dibandingkan Y. Lantanum berhasil terdestruksi sebesar 16.60% pada ulangan satu dan 19.83% ulangan dua, atau rerata 18.21%. Yttrium sebesar 24.74% pada ulangan satu dan 20.29% pada ulangan dua atau nilai rerata 22.5%.

4. KESIMPULAN

Contoh, hasil samping penambangan timah dari Belitung mengandung dua jenis UTJ, yaitu lantanum sebesar 377 ppm dan yttrium sebesar 125 ppm. Destruksi lantanum optimal dengan parameter perbandingan contoh dengan NaOH 35:65, pada waktu 30

menit, dengan energi tinggi (450 Watt), dengan persen terdestruksi 38.52% Destruksi oven lebih efektif untuk destruksi yttrium dibandingkan destruksi menggunakan microwave, persen terdestruksi sebesar 22.5% untuk oven dan 14.5 untuk microwave.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Barret SD, Dhesi Dhesi SS 2004. *The Structure of Rare Earth Metal Surfaces*. London. Imperial College P London. Imperial College Press
- [2] Kanazawa Y dan Kamitani M. 2006. Rare earth minerals and resources in the world. *Journal of Alloys and Compounds* 408-412: 1339-1343
- [3] Wasito B, Biyantoro D. 2009. *Optimasi Proses Pembuatan Oksida Logam Tanah Jarang dari Pasir Senotim dan Analisis Produk dengan Spektrometer Pendar Sinar-X*. Yogyakarta: BATAN.
- [4] El-Nadi YA, Daoud JA, Aly HF. 2005. Modified leaching and extraction of uranium from hydrous oxide cake of Egyptian monazite. *J. Miner. Process* 76: 101-110.
- [5] Tsai CS, Yeh SJ. 1996. Determination of rare earth elements in Taiwan monazite by chemical neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytica and Nuclear Chemistry* 216: 241-245.
- [6] Lu *et al.* 2003. Application of microwave extraction for the evaluation of bioavailability of rare earth elements in soils. *Chemosphere* 53: 1067-1075.
- [7] Senovita R. 2008. Optimasi destruksi mineral monasit Bangka untuk pemungutan unsur tanah jarang [skripsi]. Bandung: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung.
- [8] Pratiwi F. 2011. Pemisahan unsur tanah jarang dari limbah penambangan timah Bangka. [skripsi] Bogor. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor
- [9] Khaldun I. 2009. Pemisahan unsur-unsur logam tanah jarang dari pasir monasit Bangka dengan metode *Solvent Impregnated Resin (SIR)* [disertasi]. Bandung: Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- [10] Sastri VS *et al.* 2003. *Modern Aspects of Rare Earth and Their Complexes*. Amsterdam: Elsevier.
- [11] Cotton FA, Wilkinson G. 1962. *Advanced Inorganic Chemistry: A Comprehensive Text*. London: John Willey and Sons.

BRIKET AMPAS SAGU SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

Armi Wulanawati ¹, Henny Perwaningsih ¹ Nadya Ayu Denitasari ¹

¹Departemen Kimia FMIPA Institut Peranian Bogor

ABSTRAK

Briket biomassa dari ampas sagu dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Briket biomassa dibuat melalui beberapa tahapan, yaitu pengarangan, pencampuran dengan perekat, pengempaan, dan pengeringan. Pada pembuatan briket ampas sagu digunakan perekat kanji dengan ragam 3%, 5%, dan 7%. Pencirian mutu briket meliputi kadar air, kadar abu, bagian yang hilang pada suhu 950 °C, dan nilai kalor. Berdasarkan nilai kalor yang memenuhi standar arang kayu Indonesia (SNI 06-3730-1995) diperoleh bahwa briket ampas sagu dapat dijadikan sebagai salah satu bahan bakar alternatif.

Kata kunci : briket biomassa, ampas sagu, perekat kanji.

1 PENDAHULUAN

Minyak bumi adalah sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari, sehingga mengakibatkan cadangan minyak bumi semakin menipis. Hasil olahan minyak bumi yang digunakan sebagai bahan bakar antara lain, *Liquified Petroleum Gas* (LPG), bensin, minyak tanah, kerosin, solar dan lain-lain. Nilai kalor dari minyak bumi sebesar 45 kJ/gram (Sugianto 2009). Energi alternatif yang biasa dikembangkan sebagai pengganti dari minyak bumi, antara lain gas bumi, batubara, arang kayu, dan biomassa. Indonesia memiliki potensi energi biomassa yang sangat besar dengan perkiraan 146.7 juta ton biomassa per tahun (Abdullah 2002). Biomassa menjadi sumber energi utama untuk makhluk hidup dan diperkirakan berkontribusi 13% dari pasokan energi dunia (Tsukahara dan Sawayama 2005).

Biomassa merupakan bahan hayati yang biasanya dianggap sebagai limbah, sampah, dan sering dimusnahkan dengan cara dibakar. Biomassa tumbuhan sebagian besar berupa biomassa lignoselulosa yang tersusun dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selain itu, pektin, protein, zat ekstraktif, dan abu juga terdapat dalam biomassa tumbuhan tetapi dengan jumlah kecil. Salah satu biomassa lignoselulosa adalah limbah sagu (Singhal *et al.* 2008)

Tanaman sagu (*Metroxylon sagu*) merupakan tanaman asli Asia Tenggara dan tumbuh secara alami di daerah dataran atau rawa dengan sumber air yang melimpah. Menurut Oates dan Hicks (2002), tanaman sagu dapat tumbuh dengan baik pada ketinggian 1.250 meter dengan curah hujan 4.500 mm/tahun. Tanaman sagu dunia sekitar

50 % atau 1.128 juta ha tumbuh di Indonesia (Flach 1983), dan 90% dari jumlah tersebut atau 1.015 juta ha berkembang di Provinsi Papua dan Maluku (Lakuy dan Limbongan 2003). Pada daerah-daerah yang terisolasi dan sulit dijangkau seperti papua, pengolahan sagu masih dilakukan secara tradisional. Seiring dengan perkembangan teknologi, pati dari sagu banyak dimanfaatkan pada industri, seperti bahan pelapis (industri kertas), bahan perekat (industri tekstil), dan sebagai bahan pengental (industri pangan) (Radley 1976). Perkembangan industri pengolahan pati menyebabkan peningkatan hasil sampingan berupa limbah sagu. Industri ekstraksi pati sagu menghasilkan tiga jenis limbah, yaitu residu empulur sagu berserat (ampas), kulit batang sagu, dan air buangan. Jumlah kulit batang sagu dan ampas sagu berturut-turut adalah 26% dan 14% berdasarkan bobot total sagu (Singhal *et al.* 2008)

Bagian-bagian tanaman sagu seperti batang dan daun dapat digunakan untuk bahan pembuatan rumah, jembatan, dan alat rumah tangga. Selain itu, masyarakat telah memanfaatkan limbah pohon sagu untuk memelihara ulat sagu sebagai makanan berprotein tinggi (Limbongan *et al.* 2005).

Limbah pemrosesan pohon sagu, khususnya ampas sagu sampai saat ini belum dimanfaatkan secara optimal dan hanya sebagian kecil digunakan sebagai pakan, khususnya ruminansia. Selain itu, ampas sagu dibuang di tempat penampungan atau di sepanjang aliran sungai pada lokasi pengolahan sagu yang mengakibatkan pencemaran lingkungan, khususnya daerah aliran sungai.

Briket biomassa merupakan salah satu alternatif pemanfaatan limbah guna meningkatkan nilai tambah hasil pertanian. Berbagai potensi limbah biomassa seperti sekam padi, ampas tebu, batok kelapa, serbuk gergaji, kotoran ternak, dan lain-lain telah digunakan sebagai briket biomassa (Agustina dan Syafrian 2005). Briket biomassa yang sudah diteliti dan dikembangkan saat ini belum mencapai sifat-sifat yang diharapkan sehingga untuk mendapatkan briket dengan karakteristik yang lebih baik perlu dilakukan beberapa perlakuan dalam proses pembuatannya. Selain dengan melakukan pengarangkan, penambahan perekat akan menguatkan sifat briket. Selain itu, memberikan lapisan tipis dari perekat pada permukaan briket sebagai upaya memperbaiki konsistensi atau kerapatan dari briket yang dihasilkan. Pembuatan briket dengan penggunaan bahan perekat akan lebih baik hasilnya jika dibandingkan tanpa menggunakan bahan perekat, disamping meningkatkan nilai bakar dari briket, kekuatan briket arang dari tekanan luar juga lebih baik (tidak mudah pecah). Pemanfaatan ampas sagu sebagai bahan padat alternatif briket dapat mengurangi penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM), sehingga perkembangan teknologi penanganan dan pemanfaatan ampas sagu akan sejalan dengan

upaya pengendalian pencemaran lingkungan dan kebutuhan energi di industri dan masyarakat yang semakin meningkat.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian terdiri atas beberapa tahap. Tahap pertama adalah pembuatan briket yang terdiri dari pengeringan ampas sagu, pengarangan, pembuatan perekat, pencampuran dengan perekat, pencetakan dan pengempaan, serta pengeringan briket. Tahap kedua adalah pengujian briket yang terdiri dari penentuan kadar air, kadar abu, bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C, dan nilai kalor. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1.

Pengeringan Ampas Sagu

Ampas sagu dijemur di bawah sinar matahari sampai kering udara selama tiga hari.

Pengarangan

Pengarangan dilakukan di dalam klin drum selama 5–7 jam dengan suhu 500–600 °C, kemudian didinginkan selama 7 jam.

Pembuatan Perekat

Tepung kanji dicampur dengan air dengan perbandingan komposisi 1:12, selanjutnya dipanaskan dan diaduk sampai mengental.

Pencampuran dengan Perekat

Arang ampas sagu dicampurkan perekat dengan persentase 3%, 5%, dan 7% berturut-turut dari bobot arang ampas sagu yaitu 1.5 g, 2.5 g, dan 3.5 g. Setiap perlakuan membutuhkan 50 gram arang ampas sagu.

Pencetakan dan Pengempaan

Adonan antara arang ampas sagu dan perekat dicetak pada alat pengempa hidrolis manual dengan luas permukaan cetakan 3x3x1 cm dan tekanan pengempaan sebesar 20 ton untuk 12 cetakan.

Pengeringan Briket

Briket arang yang dihasilkan, dikeringkan di dalam oven selama dua hari pada suhu 60 °C

Penentuan Kadar Air (SNI 06-3730-1995)

Cawan kosong ditimbang hingga konstan, kemudian dimasukkan sampel ke dalam cawan tersebut hingga diperoleh bobot sampel sebanyak satu gram. Sampel diratakan dan dimasukkan ke dalam oven yang telah diatur suhunya sebesar 105 °C selama 3 jam dan didinginkan dalam desikator, kemudian ditimbang sampai bobot tetap. Penentuan kadar air dilakukan sebanyak dua kali ulangan (duplo).

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{C - (A - B)}{C} \times 100\%$$

Keterangan : A = Bobot cawan + sampel

B = Bobot cawan kosong

C = Bobot sampel awal

Penentuan Kadar Abu (SNI 06-3730-1995)

Cawan porselin dikeringkan di dalam tanur listrik bersuhu 600 °C selama 30 menit. Selanjutnya cawan didinginkan dalam desikator selama 30 menit, dan ditimbang bobot kosongnya. Kemudian dimasukkan sampel ke dalam cawan tersebut hingga diperoleh bobot sampel sebanyak satu gram. Sampel tersebut dipijarkan di atas nyala api pembakar bunsen sampai tidak berasap lagi. Setelah itu, dimasukkan ke dalam tanur listrik dengan suhu 850 °C sampai sampel menjadi abu selama 4 jam. Setelah abu berwarna putih, cawan yang berisi abu diangkat dari dalam tanur dan didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang. Penentuan kadar abu dilakukan sebanyak dua kali ulangan (duplo).

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{A}{B} \times 100\%$$

Keterangan : A = Bobot abu

B = Bobot sampel awal

Penentuan Bagian yang Hilang pada Suhu 950 °C (SNI 06-3730-1995)

Cawan kosong ditimbang hingga konstan, kemudian dimasukkan sampel ke dalam cawan tersebut hingga diperoleh bobot sampel sebanyak satu gram. Cawan porselin ditutup dan dimasukkan ke dalam tanur dengan suhu 950 °C selama tujuh menit. Penentuan bagian yang hilang pada suhu 950 °C dilakukan sebanyak dua kali ulangan (duplo).

Bagian yang hilang pada suhu 950°C =

$$\frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

Keterangan : W_1 = Bobot sampel awal

W_2 = Bobot sampel setelah pemanasan

Penentuan Nilai Kalor

Sebanyak satu gram sampel dibungkus ke dalam tisu khusus dan diikat dengan kawat nikel, kemudian diletakkan ke dalam wadah bakar dan kawat nikel dihubungkan dengan elektroda (positif dan negatif) pada sistem kalorimeter bom, lalu dimasukkan ke dalam bom dan ditutup rapat.

Gas oksigen diisikan ke dalam bom melalui lubang drat yang telah disediakan hingga mencapai tekanan 20-30 kg/cm², kemudian air dimasukkan kedalam tangki pemanas sampai ketinggian maksimum (2 liter), lalu tombol pemanas di tekan sehingga suhu di dalam air tangki mencapai 85 °C.

Sebanyak 2100 gram air dimasukkan ke dalam bejana dalam lalu diletakkan pada bejana tengah. Bom diletakkan di dalam bejana dalam, kemudian secara bersama-sama dengan bejana tengah dimasukkan ke dalam jaket. Kabel elektroda dihubungkan lalu sistem kalorimeter ditutup dengan sempurna. Air diisikan ke dalam jaket hingga bejana tengah terendam air. Termometer Beckman dan belt di pasang pada tempatnya, seluruh sistem ditutup dengan sempurna dan penyulut dihubungkan.

Motor dihidupkan, stroskopi akan menunjukkan 800-850 rpm dan suhu awal air dicatat. Pembacaan dilakukan sebanyak tiga kali dengan selang waktu tiga menit, kemudian dirata-ratakan. Tombol katup air panas (*hot water valve*) ditekan selama 1-2 detik untuk mengalirkan air panas ke dalam jacket, lalu tombol pembakaran ditekan. Apabila suhu air di dalam bejana mulai naik, tombol katup air panas ditekan untuk menaikkan suhu air di dalam jacket agar selalu sama dengan kenaikan suhu di dalam bejana dalam. Suhu air pada bejana dalam sebelum, pada saat, dan setelah kenaikan suhu tidak terjadi lagi dicatat

$$H_{bb} = \frac{\Delta t(N_a + m_a)}{m_{bb}} \times 4.186$$

Keterangan :

H_{bb} = Nilai kalor bahan bakar (J/g)

N_a = Nilai ekivalen air
(kapasitas kalor bom) (Kal/°C)

m_{bb} = Massa bahan bakar (g)

m_a = Massa air dalam bejana (g) $\times c$

c = Kalor jenis air (Kal/°C.g)

Δt = Kenaikan suhu pada bejana dalam (°C)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Ampas sagu (Gambar 1), seperti halnya ampas tebu, sekam padi, serbuk gergaji, tempurung kelapa, dan jenis biomassa lainnya mengandung banyak pati dan selulosa yang merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan nilai kalor pembakaran (Kiat 2006).

Dalam pemanfaatannya sebagai suatu bahan bakar alternatif, ampas sagu dibuat dalam bentuk briket (Gambar 2), sehingga faktor-faktor yang dapat menurunkan nilai kalor dan meningkatkan laju pembakaran, seperti tingginya kadar air, kadar abu, dan bagian yang hilang pada suhu 950 °C dapat ditekan (Agustina 2005)



Gambar 1 Ampas Sagu.



Gambar 2 Briket ampas sagu.

sagu.

Mutu briket dipengaruhi pula oleh keberadaan perekat dalam briket, baik jumlah maupun jenis perekat yang digunakan. Dengan kata lain, penambahan perekat dalam briket merupakan tahap terpenting dalam menentukan mutu briket.

Salah satu perekat yang sering digunakan dalam pembuatan briket adalah tepung kanji. Tepung kanji merupakan hasil ekstraksi pati ubi kayu yang telah

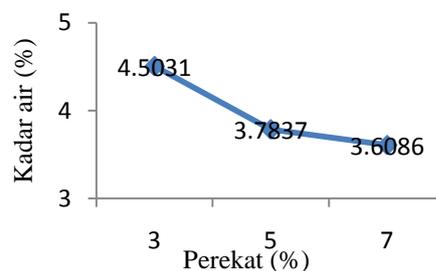
mengalami proses pencucian secara sempurna serta dilanjutkan dengan pengeringan. Tepung kanji hampir seluruhnya terdiri dari pati. Pati ubi kayu terdiri dari molekul amilosa dan amilopektin yang jumlahnya berbeda-beda tergantung jenis patinya (Ma'rif *et al.* 1984). Pada briket ampas sagu digunakan perekat kanji dengan konsentrasi 3% , 5%, dan 7% dari bobot total arang ampas sagu. Hasil karakterisasi briket ampas sagu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik briket ampas sagu dengan variasi perekat

Parameter	Perekat (%)		
	3	5	7
Kadar air (%)	4.5013	3.7837	3.6086
Kadar abu (%)	17.0336	17.0849	17.3056
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C (%)	42.1732	43.4773	51.8577
Nilai kalor (Kal/g)	6946.70	6502.40	6327.40

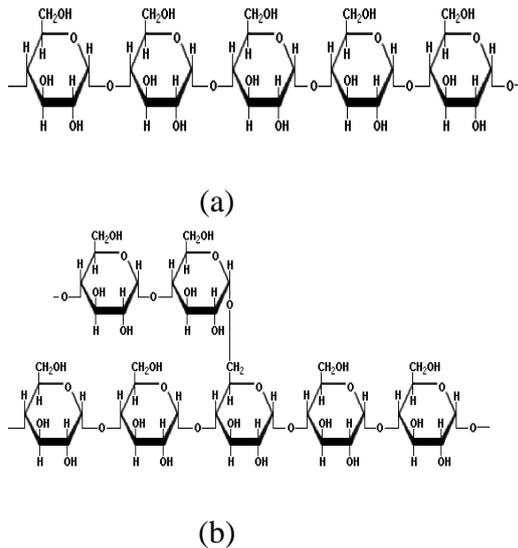
3.1 Kadar Air

Kadar air briket ampas sagu semakin menurun dengan adanya penambahan konsentrasi perekat (Gambar 3). Meningkatnya konsentrasi perekat terhadap briket, kerapatan briket diharapkan semakin tinggi, karena semakin banyak perekat yang mengisi pori-pori briket sehingga mengakibatkan ikatan antar perekat dan partikel-partikel serbuk arang dapat menyatu dan lebih rapat satu sama lain.



Gambar 3 Kadar air briket ampas sagu terhadap konsentrasi perekat.

Selain itu, amilopektin dari pati ampas sagu maupun tepung kanji juga mempengaruhi kadar air. Menurut Flach (2005) pati sagu mengandung 27% amilosa (Gambar 4a) dan 73% amilopektin (Gambar 4b).



Gambar 4 Struktur amilosa (a) dan amilopektin(b).

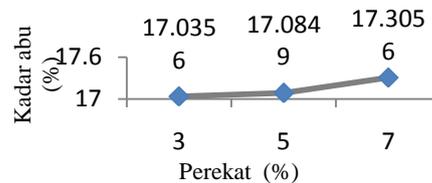
Diketahui, semakin besar kandungan amilopektin maka pati akan lebih basah, lengket dan cenderung sedikit menyerap air, hal ini dikarenakan adanya percabangan di rantai karbon C₁ dan C₆ yang menyebabkan ikatan hidrogen susah terbentuk. Sementara itu, jika kandungan amilosa tinggi, pati bersifat kering, kurang lekat, dan mudah menyerap air (higroskopis) (Hartoyo 1983). Dengan demikian, semakin besar konsentrasi perekat maka kandungan amilopektin juga semakin tinggi, sehingga kadar air briket juga semakin menurun.

Kadar air merupakan salah satu penentu dari nilai kalor. Kadar air yang tinggi akan menyebabkan nilai kalornya semakin menurun karena panas yang terdapat pada briket digunakan untuk mengeluarkan air pada briket sebelum menghasilkan panas untuk pembakaran. Kadar air briket ampas sagu yang diperoleh memenuhi standar briket di Indonesia yang mengacu pada SNI 01-6235-2000 yaitu kurang dari 8%. Data penentuan kadar air dapat dilihat pada Lampiran 2.

3.2 Kadar Abu

Abu merupakan zat-zat anorganik yang berupa logam ataupun mineral-mineral yang terkandung dalam bahan bakar padat dan merupakan sisa dari proses pembakaran (Eero 1995). Berdasarkan Gambar 5, diperoleh bahwa

bertambahnya konsentrasi perekat tidak secara signifikan mempengaruhi jumlah kadar abu. Selain itu, diperoleh juga hasil bahwa kadar abu dari briket ampas sagu 2.5 kali lebih besar dari standar briket di Indonesia yaitu kurang dari 8%. Data penentuan kadar abu dapat dilihat pada Lampiran 3



Gambar 5 Kadar abu briket ampas sagu terhadap konsentrasi perekat.

Kadar abu yang tinggi dapat disebabkan dari berbagai garam yang terendapkan dalam dinding-dinding sel dan lumen. Endapan yang khas adalah endapan dari berbagai garam-garam logam, seperti karbonat, silikat, oksalat, dan fosfat (Eero 1995). Berdasarkan Departemen Kesehatan R.I Komponen logam dalam pati sagu yang banyak ditemukan adalah kalsium (11 mg) dan besi (1.5 mg) dalam 100 gram pati sagu. Ion-ion logam tersebut hanya dapat dihilangkan dan dicuci dengan asam cair atau senyawa pengompleks (Eero 1995).

Garam-garam logam ini selain terdapat pada bahan baku briket itu sendiri, bisa juga terdapat pada tepung kanji yang digunakan sebagai perekat.

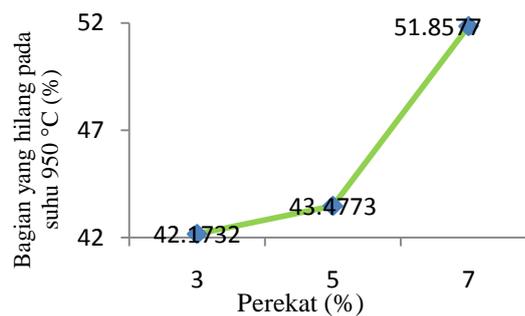
Tepung kanji yang berbahan dasar singkong memiliki kandungan logam besi dan kalsium berturut-turut 0.70 mg dan 33 mg dalam 100 gram singkong (Sudrajat dan Soleh 1993). Selain itu, proses pembuatan tepung kanji juga mempengaruhi kadar abu melalui alat-alat produksi. Menurut Subadra (2005), hasil yang tinggi dari proses pengujian kadar abu menunjukkan tingginya oksida-logam dalam arang yang terdiri dari mineral yang tidak dapat menguap pada proses pengabuan.

3.3 Bagian yang Hilang pada Pemanasan 950 °C

Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C atau yang disebut dengan zat menguap adalah kadar zat yang menguap setelah proses pembakaran pada suhu 950 °C selama tujuh menit. Zat yang menguap adalah zat selain air, karbon yang terikat dan abu yang terdapat dalam arang, terdiri dari cairan dan sisa ter yang tidak habis dalam proses pengarangan. Kadar zat mudah menguap dapat berubah-

ubah tergantung pada lama proses pengarangan dan temperatur yang diberikan. Kadar zat menguap akan turun persentasenya apabila diberikan perlakuan dengan memperlama proses pengarangan, sehingga proses penguraian senyawa karbon dan H_2 lebih maksimal. Kadar zat menguap mempengaruhi kesempurnaan pembakaran dan intensitas api.

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, kadar bagian yang hilang pada suhu $950\text{ }^\circ\text{C}$ ini belum memenuhi standar mutu briket yang ada di Indonesia yaitu kurang dari 15%. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi perekat yang digunakan maka kadar zat menguap akan semakin tinggi pula karena kandungan organik semakin banyak sehingga lebih banyak pula bagian yang dengan mudah menjadi gas atau uap pada saat proses pembakaran. Diketahui, bahan-bahan organik yang terdapat pada ampas sagu dan tepung kanji menguap seluruhnya pada suhu $950\text{ }^\circ\text{C}$



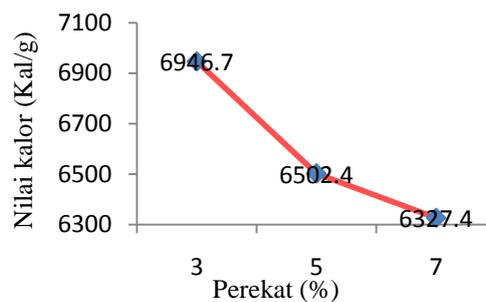
Gambar 6 Bagian yang hilang pada pemanasan $950\text{ }^\circ\text{C}$ terhadap konsentrasi perekat.

Selain itu, diperoleh semakin tinggi kadar zat menguap pada briket menunjukkan bahwa semakin rendah karbon yang terikat pada briket, sehingga briket cepat terbakar dan menyala yang menyebabkan laju pembakaran briket semakin cepat. Banyaknya karbon yang terikat akan mempengaruhi nilai kalor pada suatu briket, berarti, semakin tinggi kadar zat menguap, maka akan semakin rendah karbon yang terikat sehingga nilai kalornya akan semakin rendah. Arang yang baik adalah yang memiliki karbon terikat yang tinggi. Hal ini disebabkan di dalam proses pembakaran membutuhkan karbon yang bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan kalor (Rustini 2004). Selain itu, pengaruh kadar zat menguap

pada briket adalah berbanding lurus dengan peningkatan panjang nyala api atau laju pembakaran dan membantu dalam memudahkan penyalaan briket (Listiyanawati *et al.* 2008).

3.4 Nilai Kalor

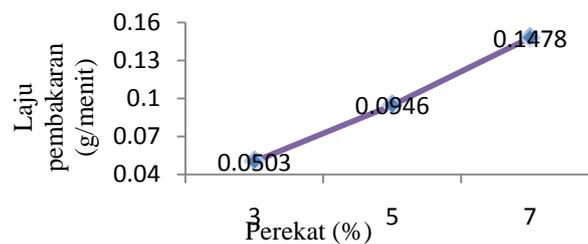
Penetapan nilai kalor bertujuan untuk mengetahui nilai panas pembakaran yang dapat dihasilkan oleh suatu briket arang. Nilai kalor menjadi parameter mutu paling penting bagi briket biomassa sebagai bahan bakar. Apabila nilai kalor suatu briket semakin tinggi, maka akan semakin baik pula mutu briket biomassa yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penentuan nilai kalor pada Gambar 7, menunjukkan bahwa semakin besar jumlah perekat yang digunakan maka nilai kalor yang dihasilkan semakin rendah.



Gambar 7 Nilai kalor briket ampas sagu terhadap konsentrasi perekat.

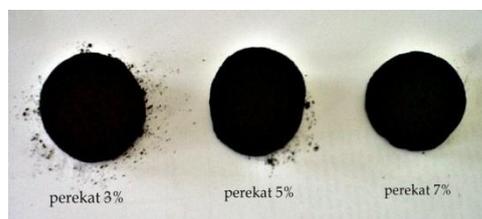
Nilai kalor pada briket ampas sagu, cenderung lebih dipengaruhi oleh kadar zat menguap. Semakin rendah kadar abu, dan kadar zat menguap maka nilai kalor akan semakin tinggi. Hal ini berarti, semakin besar konsentrasi perekat yang digunakan, maka zat mudah menguap cenderung semakin besar sehingga nilai kalor briket biomassa akan semakin berkurang. Suhu yang lebih besar daripada penentuan kadar abu, akan membuat reaksi penguraian perekat dan partikel-partikel yang saling terikat lebih cepat. Semakin besar jumlah perekat, partikel-partikel yang terikat juga semakin besar. Kadar abu dan kadar zat menguap yang didapatkan tinggi dan tidak sesuai dengan standar mutu briket di Indonesia, namun nilai kalor briket ampas sagu yang diperoleh masih memenuhi standar mutu briket di Indonesia yaitu diatas 5000 Kal/g

Briket dikatakan memiliki mutu yang baik bila memiliki nilai kalor yang tinggi, kadar air, kadar abu, zat menguap yang rendah, laju pembakarannya rendah, menyala dengan baik dan memberikan panas secara merata, selain itu bersih, tidak menempel ditangan. Briket ampas sagu dengan variasi perekat belum memberikan hasil yang maksimal. Jumlah konsentrasi perekat juga menentukan laju pembakaran (Gambar 8) dan tingkat kerapuhan briket seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 8 Laju pembakaran briket ampas sagu.

Pada perekat 3% briket yang dihasilkan cukup rapuh sehingga mengakibatkan laju pembakarannya semakin meningkat yaitu 0.0503 g/ment dan panas yang tidak merata. Briket dengan perekat 5% mempunyai bentuk yang cukup kuat dan tidak terlalu rapuh seperti pada briket dengan komposisi perekat 3%, waktu penyalaan cepat, dan laju pembakarannya lama, yaitu 0.0946 g/ment. Sedangkan pada briket dengan komposisi perekat 7% dihasilkan briket dengan kualitas yang bagus tetapi memiliki nilai kalor paling rendah, dengan penyalaan yang lama dan laju pembakarannya cepat, yaitu 0.1478 g/ment. Laju pembakaran yang cepat dikarenakan kadar zat menguap yang tinggi.



Gambar 9 Briket dengan variasi perekat 3%, 5% , dan 7%.

4 SIMPULAN

Berdasarkan nilai kalor yang memenuhi standar briket arang kayu Indonesia (SNI 06-3730-1995), diperoleh bahwa briket ampas sago dapat dijadikan sebagai salah satu bahan bakar alternatif.

PUSTAKA

Abdullah K. 2002. *Biomass Energy Potential and Utilization in Indonesia*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Achmad R. 1991. Briket Arang Lebih dari Kayu Bakar. *Neraca* 10(4) : 21-22.

Agustina SE. 2006. *Densification Technology*. Bogor : Fakultas Teknologi Pertanian IPB.

Agustina SE dan A. Syafrian. 2005. *Mesin Pengempa Briket Biomassa, salah Satu Penyediaan Bahan Bakar Pengganti BBM untuk Rumah Tangga dan Industri Kecil*. Di Dalam : *Seminar Nasional dan Kongres Perteta*. Bandung

ASTM. 1959. Coal and coke D-5. Philadelphia : American Society for Testing and Material [BSN] Badan Standarisasi Nasional SNI 01-6235-2000. Briket Arang Kayu. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional

[BSN] Badan Standarisasi Nasional SNI 06-3730-1995. Arang Aktif Teknis. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

Eero Sjoecstrom. 1995. *Kimia kayu Dasar-Dasar dan Penggunaan Edisi kedua*. Dr. Hardjono Sostrohamidjojo, penerjemah; Prof.Dr.Ir. Soenardi Prawirohatmodjo. Editor. Finlandia: Academic Press. Terjemahan dari : Wood Chemistry, Fundamentals and Application, Second Edition.

Flach M. 2005. *A Simple Growth Modl for Sago Palm cv. Molat-Ambuturb and Application for Cultivation* [abstrak]. Di dalam: Symposium of the eight International Sago. Jayapura : Japan Society for Promotion Science. Hendra D. 1999. *Bahan Baku Pembuatan Arang dan Briket Arang*. Bogor : Litbang Hasil Hutan.

Hartoyo. 1983. Pembuatan Arang dan Briket Arang Secara Sederhana dari Serbuk Gergaji dan Limbah Industri Perakayuan. Di Dalam : *Seminar Pemanfaatan Limbah Pertanian atau Kehutanan Sebagai Sumber Energi*. Bogor :Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.

- Haryanto B, P. Panglolo. 1992. *Potensi dan Pemanfaatan Sagu*. Yogyakarta : Kanisius
- Jankwoska H, Swiatkowki A, Choma J. 1991. *Activated Carbon*. England : Ellis Horwood Limited
- Josep S, Hislop D. 1981. *Residu Briquetting in Development Countries*. London : Aplyed Science Publisher.
- Karch GE dan Boutette. 1983. *Charcoal Small Scale Production*. German Appropriate Technology Exchange, Federal Republic of Germany.
- Kiat LJ. 2006. Preparation and Characterization of Carboxymethyl Sago Waste and Hydrogel.[tesis]. Malaysia : Universiti Putra Malaysia.
- Komarayati S, Setiawan D, Mahpudin. 2004. Beberapa sifat dan pemanfaatan arang dari serasah dan kulit kayu Pinus. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 22 : 17-22.
- Lakuy H, J Limbongan. 2003. *Beberapa hasil kajian dan teknologi yang diperlukan untuk pengembangan sago di Provinsi Papua*. Prosiding Seminar Nasional Sagu. Manado, 6 Oktober 2003. Manado : Balai Penelitian Tanaman Kelapa dan Palma Lain.
- Limbongan J, Hanafiah A, M Ngobe. 2005. *Pengembangan Sagu Papua*. Papua: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Papua.
- Listiyanawati D, Trihadiningrum Y, Sungkono D.2008. Eko-briket dari Komposit sampah plastik campuran dan lignoselulosa. [terhubung berkala]. [http : //www.mmt.its.ac.id/library/wp-content/denny-listiyanawati-ok-print-pdf](http://www.mmt.its.ac.id/library/wp-content/denny-listiyanawati-ok-print-pdf). [17 April 2010].
- Ma'arif S, AB Ahza, Meutia, S Harjo. 1984. *Studi Pengembangan Proses Pembuatan Tepung Tapioka dari Singkong*. Bogor : FAPERTA, IPB.
- Mc Clatchey W, Manner HI, Elvitch CR. 2006. *Metroxylon Amicarum, M.Paulcoxii, M. Sago, M. Salomonense, M. Vitiense, and M. Warbugii (Sago Plam), Arecaceae (palm family) Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*. [terhubung berkala]. [www.traditional tree.org](http://www.traditionaltree.org). [6 Juni 2011].
- Palungkun R. 1999. *Aneka Produk Olahan Kelapa*. Bogor : Penebar Swadaya

- Oates C, Hicks A. 2002. *Sago Starch Production in Asia and the Pacific-Problem and Prospect. New Frontiers of Sago Palm Studies*. Tokyo : Universal Academic Press.
- Radley JA. 1976. *Starch Production Technology*. London : Applied Science Pub Ltd.
- Raharjo IB. 2006. Mengenal Batu Bara. [terhubung berkala]. [http : //www.beritaipstek.com/zberita-beritaipstek-2006-02-18-Mengenal Batubara.shtml](http://www.beritaipstek.com/zberita-beritaipstek-2006-02-18-Mengenal-Batubara.shtml). [26 Maret 2010].
- Ramaswarmi S. 1973. Briquetting of charcoal. *The Indian Forester LXIII* : 94-99.
- Rustini. 2004. *Pembuatan Briket Arang Serbuk Gergajian kayu Pinus (Pinus merkusii Zungh. Et de Vr.j) dengan Penambahan Tempurung Kelapa* [skripsi]. Bogor : Departemen Teknologi Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor.
- Sani HR. 2009. *Pembuatan Briket Arang dari campuran kulit kacang, cabang dan ranting pohon sengon serta sebetan bambu*. Bogor : Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan IPB.
- Silalahi. 2000. *Penelitian Pembuatan Briket Kayu dari Serbuk Gergaji Kayu*. Bogor : Hasil Penelitian Industri Deperindag,
- Singh RK, Misra. 2005. *Biofuels from Biomass*. Department of Chemichal.
- Singhal RS, Kennedy JF, Gopal Akrishnan SM, knill CJ, dan Akmar PF. 2008. Industrial production, processing and utilization of sago palm derived product. *Carbohydrat polymer* 72:1-2
- Subadra I, Setiaji B, Tahir I. 2005. Activated carbon production from coconut Shell with (NH₄)HCO₃ activator as an adsorbent in Virgin Cococnut oil purification. Prosiding Seminar Nasional DIES ke 50 FMIPA UGM; Yogyakarta, 17 September 2005.
- Subroto. 2006. Karakteristik pembakaran biobriket campuran batu bara, ampas tebu, dan jerami. *Jurnal Media Mesin* 7 : 47-54.
- Sudrajat R dan Soleh S. 1993. *Petunjuk Teknis Pembuatan Arang Briket*. Bogor : Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Sugianto Bambang. 2009. Kalor Pembakaran. [terhubung berkala]. [http : //www.chem-is-try.org/materi-kimia/kimia_fisika1/termokimia/kalor-pembakaran/](http://www.chem-is-try.org/materi-kimia/kimia_fisika1/termokimia/kalor-pembakaran/).
- Sulistyanto A. 2007. Pengaruh variasi bahan perekat terhadap laju pembakaran biobriket campuran batubara dan sabut kelapa. *Jurnal Media Mesin* 8 : 45-52.

Tsukahara K, Sawayama S. 2005. Liquid fuel production using microalgae. *J Jpn Petrol Inst* 45 : 251-259. [terhubung berkala]. http://www.jstage.jst.go.jp/article/jpi/48/5/251/_pdf [26 Mar 2010].

Tillman Da, Rossi AJ, Kito WD. 1981. *Wood Combution. Prinsip, Processes, and Economics*. Washington : Academic Press

BUDIDAYA DAN FORMULASI KAMANDRAH (*CROTON TIGLIUM L.*) SEBAGAI LARVASIDA HAYATI PENCEGAH DEMAM BERDARAH DENGUE

Upik Kesumawati¹, Dyah Iswanti^{1*}, Min Rahminiwati², Rosihan Rosman³,
Agus Sudiman T³.

1. Pusat Studi Biofarmaka LPPM IPB, Bogor. Jl. Taman Kencana no 3 Bogor. E-mail: dyahprado@yahoo.co.id
2. Fakultas Kedokteran Hewan, IPB
3. Staf Peneliti Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik, Bogor.

ABSTRAK

Demam Berdarah Dengue (DBD) adalah salah satu masalah kesehatan di Indonesia. Cara yang tepat dan efektif dengan pengendalian vektor pada stadia larva, diantaranya menggunakan larvasida bahan hayati. Kamandrah (*Croton tiglium L.*) tumbuh liar di Kalimantan, bijinya digunakan untuk membunuh jentik nyamuk sedang batang dan daunnya sebagai obat nyamuk. Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh larvasida hayati menggunakan kamandrah. Tahapan penelitian terdiri dari persiapan bahan baku; ekstraksi; formulasi dan uji potensi larvasida. Hasil menunjukkan bahwa tanaman kamandrah dapat diperbanyak dengan stek, pada pemberian root up konsentrasi 0,25 hingga 0,75 ml/L dan Auxin konsentrasi 0,50 hingga 1,0 ml/L mempercepat stek bertunas 40 hingga 75% pada pengamatan 10 HST. Ekstraksi minyak kamandrah dengan pengepresan hidrolik suhu 80°C selama 30 menit memberikan nilai LC₅₀ terkecil (140 hingga 264 ppm). Formulasi larvasida hayati bentuk granula lebih efektif (nilai LC₅₀ 1 039 ppm (24 jam) dan 718 ppm (48 jam).

Kata kunci: kamandrah (*Croton tiglium L.*), formula larvasida hayati, demam berdarah dengue, *Aedes aegypti*

1 PENDAHULUAN

Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) yang disebabkan oleh virus dengue di kawasan Asia Tenggara pertama kali dijumpai di Filipina pada tahun 1953. Di Indonesia, DBD merupakan masalah kesehatan yang hingga saat ini belum dapat diatasi sejak 37 tahun yang lalu. Bahkan tahun 2004 dinyatakan sebagai kejadian luar biasa nasional karena jumlah korban tewas mencapai hampir merata di berbagai wilayah nusantara (sekitar dua persen). Penyakit demam berdarah disebabkan oleh virus *dengue* dan dibawa oleh vektor *A. aegypti* [1]. Untuk mengatasi masalah penyakit DBD telah banyak usaha dilakukan. Alternatif yang paling memberi harapan dan efektif untuk pemberantasan penyakit DBD adalah pengendalian vektor pada stadia larva [1]. Larvasida kimiawi seperti temefos (abate) menurut Cavalcanti *et al.* 2004 [2] diduga beracun dan dapat menyebabkan sakit kepala, iritasi dan beracun terhadap hewan air. Salah satu usaha untuk mengurangi dampak negatif di atas adalah dengan mencari bahan nabati yang lebih selektif, aman dan berwawasan lingkungan

Kamandrah (*Croton tiglium* L.) merupakan tanaman obat yang banyak ditemukan di daerah Kalimantan dan berdasarkan *indigenous knowledge* menunjukkan bahwa masyarakatnya banyak menggunakan bijinya sebagai pembunuh jentik-jentik nyamuk, sedangkan batang dan daunnya dibakar digunakan sebagai pengusir nyamuk. Tumbuhan Kamandrah adalah salah satu tumbuhan yang beracun yang berpotensi sebagai insektisida terutama di bagian bijinya. Hasil studi di masyarakat menunjukkan serbuk biji Kamandrah sudah biasa digunakan oleh nelayan di pulau komodo untuk meracuni ikan di perairan agar mudah ditangkap tetapi masih dapat dikonsumsi [3], sedangkan di Kalimantan tumbuhan Kamandrah biasa digunakan sebagai obat laksatif [4]. Penelitian mengenai potensi tinggi dari tanaman kamandrah sebagai larvasida ini sudah dilakukan [5]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak biji kamandrah cukup ampuh membunuh jentik dan telur nyamuk *Aedes aegypti*, tetapi ekstrak ini dapat menyebabkan iritasi kulit manusia dan menimbulkan sakit perut dan hewan mamalia (ruminan). Penelitiannya yang lebih mendalam belum dilakukan seperti potensi bagian tanaman kamandrah yang lain sebagai larvasida, aspek budidaya berbasis bahan aktif, penentuan senyawa aktif, optimalisasi proses ekstraksi dan formulasi.

Berdasarkan studi pustaka dan hasil penelitian kami sebelumnya, maka sangatlah penting untuk melanjutkan penelitian ini untuk menghasilkan biji kamandrah dengan perbanyak bahan tanaman dengan stek. Selain itu, formulasi akan dilakukan untuk memperoleh formula yang berpotensi tinggi sebagai larvasida hayati.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari: perbanyak dengan metode stek, persiapan dan bahan baku, ekstraksi minyak kamandrah, formulasi dan uji potensial sebagai larvasida *A. aegypti*.

Perbanyak Bahan Tanam dengan Metode Stek

Percobaan dilaksanakan di Kebun Percobaan Balitro Cimanggu Bogor menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan 3 ulangan. Tiap perlakuan terdiri dari lima pot, sehingga total ada 120 pot. Tiap pot berisi media tanah dan pupuk kandang (6 kg + 0,5 kg) dicampur homogen. Stek yang sudah diperlakukan sesuai dengan perlakuan ditanam 3 stek/pot. Setelah bertunas dan tumbuh baik disiangkan 1 stek/pot. Pemupukan dengan 10 g urea + 5 g SP-6 + 3 g KCl/pot. Percobaan terdiri dari 8 perlakuan penggunaan zat pengatur tumbuh, terdiri atas : A : Root Up 0,25 ml/l; B : Root Up 0,5 ml/l; C : Root Up 0,75 ml/l; D : Root up 1,0 ml/l; E : Auxin 0,5 ml/l; F : Auxin 0,75 ml/l; G : Auxin 1,0 ml/l dan H : Kontrol. Parameter yang dilakukan terdiri dari :

jumlah stek bertunas umur 10, 17, 24 dan 31 hari setelah tanam (HST), tinggi tanaman, diameter batang dan jumlah cabang pada umur 30, 60, 90 dan 120 HST.

Persiapan Bahan Baku

Simplisia biji kamandrah dipres dengan menggunakan pompa hidrolik pada suhu 70-80 °C selama 30 menit, minyak yang dihasilkan ditampung untuk menghitung rendemen.

Formulasi Larvasida Hayati Berbasis Minyak Kamandrah

Formulasi yang dilakukan adalah formulasi untuk memperoleh larvasida hayati yang efektif, *sustain released* dan tahan lama. Bentuk fisik formula yang akan diteliti adalah granula dan *powder*, serta dilakukan uji potensi sebagai larvasida.

Uji ini dilakukan terhadap biji kamandrah yang dihasilkan dari budidaya, untuk formula hasil pemantaban formulasi, dan untuk uji potensi larvasida terhadap nyamuk *Aedes albopictus* penyebab penyakit Chikungunya juga uji anti-oviposisi (mencegah bertelurnya nyamuk). Penelitian dilakukan di Laboratorium Entomologi, Bagian Parasitologi dan Patologi Fakultas Kedokteran Hewan IPB.

Kegiatan uji efikasi toksisitas ekstrak minyak biji dan formulasi minyak Kamandrah terhadap pradewasa nyamuk menggunakan larva nyamuk *Aedes aegypti* instar III dan IV. Larva nyamuk yang digunakan dalam penelitian adalah hasil kolonisasi beberapa generasi yang diperoleh dari hasil *rearing* (pembiakan) di ruang insektarium, Laboratorium Entomologi Kesehatan, Fakultas Kedokteran Hewan, IPB.

Peralatan yang digunakan untuk pemeliharaan dan pengujian larva adalah nampan/tray plastik sebagai tempat pemeliharaan larva, kandang ukuran 40 x 40 x 40 cm, kawat kasa, kertas saring, pipet plastik, botol kecil, tissue, kapas, gelas plastik, mikropipet, gelas ukur, *counter* (penghitung), mikroskop. Sedangkan bahan makanan untuk larva diberikan ati yang telah dimasak atau teri kering yang telah ditumbuk halus, pada nyamuk (imago) diberikan larutan gula 10% yang dicampur dengan vitamin B. Nyamuk imago setelah kawin dan berumur \pm 2 hari digigitkan pada marmut untuk proses pematangan telur.

Larutan uji yang digunakan adalah larutan minyak biji Kamandrah yang telah dilarutkan dalam pelarut yang sesuai. Untuk menentukan konsentrasi / dosis yang sesuai dilakukan uji pendahuluan terhadap larva *Aedes aegypti*. Cara menguji larutan ekstrak yaitu di mulai dari konsentrasi yang paling tinggi kemudian menurun sampai diperoleh angka kematian 100%. Uji berikutnya adalah konsentrasi setengah bagian dari konsentrasi terakhir. Dan akan dibuat masing-masing 5 taraf pengenceran dengan satu kontrol.

Pengadaan larva uji dengan mengambil telur *Aedes aegypti* hasil kolonisasi di Insektarium Entomologi Kesehatan Fakultas Kedokteran Hewan, IPB. Telur sebanyak \pm 700 ekor dimasukkan ke dalam nampan plastik berukuran 30 x 20 x 5 cm yang berisi air kran, dalam waktu \pm satu hari telur akan menetas menjadi larva instar I, kemudian diberi makanan hati ayam kering yang telah ditumbuk halus. Larva akan tumbuh menjadi instar III – IV setelah 4 – 6 hari, larva ini yang akan kita gunakan sebagai uji.

Untuk pengujian ekstraksi tumbuhan terhadap larva digunakan enam buah gelas yang berukuran 240 ml, yaitu 5 perlakuan dosis ekstrak dan satu adalah kontrol dengan masing-masing digunakan 5 ulangan. Berbagai tingkat ekstraksi tumbuhan yang diujikan melalui perhitungan rumus $V_1.C_1 = V_2.C_2$ (V_1 = volume yang dicari, V_2 = volume yang diinginkan, C_1 = konsentrasi ekstrak awal, C_2 = konsentrasi yang diinginkan). Konsentrasi ekstrak awal dianggap 100%. Setiap gelas perlakuan diisi dengan air dan suspensi ekstrak hingga volumenya menjadi 50 ml, kemudian dimasukkan larva instar III/IV. Pengamatan dilakukan setiap 1, 2, 3, 4, dan 24 jam setelah larva dimasukkan, dihitung berapa banyak larva yang mati, sampai semua larva mati atau menjadi nyamuk.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan lima kali ulangan. Hasil yang diperoleh diolah dengan menggunakan analisis Anova menggunakan program SPSS, bila ada perbedaan maka akan dilanjutkan ke uji Beda Nyata Terkecil (BNT). Untuk menentukan *Lethal Concentration* (LC)₅₀ - LC ₉₉, data mortalitas ditransformasikan efektif dan garis regresinya.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbanyakan Tanaman dengan Stek

Jumlah Stek Bertunas

Tabel 1 menunjukkan bahwa pada pengamatan 10 dan 17 HST jumlah stek bertunas terbanyak terdapat pada petak perlakuan Auxin 0,75%, Auxin 0,50%, dan Root up 0,75% berturut-turut sebesar 75, 70 dan 60 %, sedangkan perlakuan lainnya stek bertunas kurang dari 50%. Hal ini menunjukkan bahwa Root Up konsentrasi 0,75%, Auxin 0,50% dan 75% mampu memacu pertunasan stek kamandrah dalam waktu 17 HST. Pada pengamatan 24 dan 31 HST jumlah stek bertunas berkurang, karena terjadi serangan hama kutu putih secara menyeluruh.

Tabel 1 Jumlah Stek Bertunas Kamandrah Dibawah Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh Umur 10, 17, 24 dan 31 Hari Setelah Tumbuh

Perlakuan	Jumlah Stek Bertunas (%)			
	10 HST	17 HST	24 HST	31 HST
1. Root Up 0,25%	55	55	30	25
2. Root Up 0,50%	50	50	35	20
3. Root Up 0,75%	60	60	30	20
4. Root Up 1,00%	25	25	10	5
5. Auxin 0,50%	70	70	40	30
6. Auxin 0,75%	75	75	50	35
7. Auxin 1,00%	40	40	20	15
8. Kontrol (0%)	25	25	15	15

Keterangan : HST= Hari setelah tanam

Tinggi Tanaman (Tunas) Kamandrah

Tabel 2, terlihat bahwa tunas tertinggi didapatkan pada petak perlakuan Root Up 0,75%, Auxin 0,75 dan 1,00% berturut-turut 19,80, 18,30 dan 18,25 cm. Kemudian Auxin konsentrasi 0,50 dengan tinggi rata-rata 15,50 cm lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan dengan Root up maupun Auxin dengan konsentrasi yang lebih rendah. Pada pengamatan tanaman berumur 60 hari setelah tanam banyak tanaman/tunas yang mati karena diserang oleh hama kutu putih secara menyeluruh dan hanya sekitar 20% yang bisa diselamatkan.

Tabel 2 Tinggi Tanaman Kamandrah Dibawah Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh

Perlakuan	Tinggi Tanaman /Tunas (cm)			
	30 HST	60 HST	90 HST	120 HST
1. Root Up 0,25%	6,15 b	12,40 a	x	x
2. Root Up 0,50%	7,00 c	13,60 a	20,25	25,50
3. Root Up 0,75%	7,50 c	19,80 b	21,35	26,30
4. Root Up 1,00%	6,10 b	13,50 a	x	x
5. Auxin 0,50%	6,15 c	15,50 c	x	x
6. Auxin 0,75%	7,40 c	18,30 b	30,25	41,50
7. Auxin 1,00%	5,95 b	18,25 b	x	x
8. Kontrol (0%)	4,10 a	12,65 a	x	x

Keterangan : X = Tanaman/tunas mati oleh serangan hama kutu putih

Diameter Batang

Tabel 3 Diameter Batang Tanaman Kamandrah Dibawah Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh

Perlakuan	Diameter Batang (cm)			
	30 HST	60 HST	90 HST	120 HST
1. Root Up 0,25%	0,33b	0,69b	x	x
2. Root Up 0,50%	0,24a	0,54a	0,60	0,69
3. Root Up 0,75%	0,25a	0,50a	0,65	0,72
4. Root Up 1,00%	0,25a	0,52a	x	x
5. Auxin 0,50%	0,24a	0,53a	x	x
6. Auxin 0,75%	0,34b	0,72b	0,65	0,75
7. Auxin 1,00%	0,30b	0,64b	x	x
8. Kontrol (0%)	0,24a	0,51a	x	x

Tabel 3 menunjukkan bahwa diameter batang tunas pada pengamatan 30 HST perlakuan Root Up 0,25%, Auxin 0,75 dan 1,00% lebih panjang dari pada perlakuan Root Up 0,5; 0,75; 1,00 dan Auxin 0,50% namun berbeda nyata dibandingkan dengan kontrol yang diameternya 0,24 cm. Pada pengamatan 60 HST diameter batang pada perlakuan Root Up 0,25% Auxin 1,00 dan 0,75% berturut-turut diameternya 0,69; 0,72 dan 0,64 cm lebih panjang dan berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan lain maupun kontrol.

Tabel 4 Jumlah Cabang Tanaman Kamandrah Dibawah Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh

Perlakuan	Jumlah Cabang			
	30 HST	60 HST	90 HST	120 HST
1. Root Up 0,25%	0	0	X	X
2. Root Up 0,50%	0	0	3,00	7,00
3. Root Up 0,75%	0	0	3,50	7,00
4. Root Up 1,00%	0	0	3,50	X
5. Auxin 0,50%	0	0	X	X
6. Auxin 0,75%	0	0	4,00	5,00
7. Auxin 1,00%	0	0	2,50	X
8. Kontrol (0%)	0	0	3,00	X

Keterangan : x = Mati/tunas kering

Dari Tabel 4, terlihat bahwa pada pengamatan 90 HST tanaman/tunas mulai membentuk cabang berkisar antara 3 sampai 4 pada perlakuan Root up dengan 0,50 ml/l. Tanaman pada perlakuan Root Up 0,25 ml/l dan Auxin 0,50 ml/l mati oleh serangan hama kutu putih. Serangan berat sampai pada pengamatan 120 HST hanya tertinggal tanaman pada perlakuan Root up 0,50 dan 0,75 ml/l serta Auxin 0,75 ml/l.

Persiapan Bahan Baku dan Uji Potensi sebagai Larvasida

Tabel 5 Kadar Piperin dan Nilai LC Minyak Biji Kamandrah Dengan Berbagai Perlakuan Yang Dibudidayakan Di Kalimantan Tengah Umur 10 Bulan dan 16 Bulan Setelah Tanam.

Perlakuan	Umur 10 Bulan			Umur 16 Bulan		
	Kadar piperin (%)	Nilai LC ₅₀ (ppm)	Nilai LC ₉₀ (ppm)	Kadar Piperin (%)	Nilai LC ₅₀ (ppm)	Nilai LC ₉₀ (ppm)
A	0,0383	40,98	204,84	0,0042	39,95	172,88
B	0,0425	102,42	244,95	0,0021	36,05	123,25
C	0,0400	51,46	225,89	0,0023	34,15	190,43
D	0,0421	43,12	216,66	0,0031	34,03	62,81
E	0,0574	56,39	211,45	0,0021	80,52	179,45
F	0,0381	109,96	321,76	0,0021	27,14	139,34
G	0,0403	62,43	307,80	0,0019	39,52	87,08
H	0,0693	25,98	164,80	0,0019	174,03	351,11
I	0,0457	215,5	363,27	0,0022	134,97	283,55

Semua sampel biji kamandrah yang telah diperoleh pada saat panen dipres dengan menggunakan pompa hidrolik pada suhu 70 °C – 80 °C, minyak yang dihasilkan ditampung dan dihitung rendemennya. Tabel 5 menunjukkan bahwa perlakuan H pada pemanenan umur 10 bulan yang menghasilkan kadar piperin yang tertinggi yaitu 0,0693 % b/b dengan nilai LC₅₀ 25,98 ppm dan LC₉₀ 164,9 ppm, sedangkan pada pemanenan biji kamandrah pada umur 16 bulan menghasilkan kadar piperin tertinggi pada perlakuan A yaitu dengan nilai LC₅₀ 39,50 ppm dan LC₉₀ 172,88 ppm.

Formulasi Larvasida Hayati Berbasis Minyak Kamandrah

Formulasi dilakukan yang memperoleh dua formula dalam bentuk powder dan granula. Nilai LC₅₀ formulasi yang dibuat dalam bentuk granula memiliki nilai LC lebih rendah yaitu 1 039 ppm dari pada yang dibuat dalam bentuk powder yaitu 1 160 ppm (24 jam), demikian pula hasil pengamatan 48 jam (Tabel 6). Hal ini menunjukkan bahwa formulasi yang dibuat dalam bentuk granula lebih efektif membunuh nyamuk *A. Aegypti* dibandingkan formula yang dibuat dalam bentuk *powder*. Aplikasi penggunaan formula dalam bentuk granula dalam air tidak menunjukkan perubahan warna dari air dan formula langsung mengendap pada dasar wadah. Larvasida hayati yang dihasilkan dalam bentuk formula merupakan insektifida yang digunakan untuk membunuh jentik nyamuk. Senyawa aktif yang ada dalam formula bekerja sangat spesifik dan secara perlahan-lahan, sehingga efektif membunuh larva dalam waktu dua sampai 3 bulan.

Tabel 6 Nilai *Lethal Concentration* (LC) Formulasi Minyak Kamandrah Hasil Budidaya di Kalimantan Sebagai Larvasida Hayati

No	Bentuk Formula	Nilai <i>Lethal Concentration</i> (ppm)					
		24 Jam			48 Jam		
		LC ₅₀ (ppm)	LC ₉₀ (ppm)	LC ₉₅ (ppm)	LC ₅₀ (ppm)	LC ₉₀ (ppm)	LC ₉₅ (ppm)
1	<i>Powder</i>	1 160	3 037	3 569	1 021	1 516	1 657
2	<i>Granula</i>	1039	1484	1610	718	937	999

PUSTAKA

- [1] Carvalho AFU, *et.al.* 2003. "Larvacidal activity of the essential oil from *Lippia sidoides* Cham against *Ae. Aegypti* Linn", *Mem Inst Oswaldo Cruz* 98:565-571.
- [2] Cavalcanti ESB, *et.al.* 2004. "Larvacidal activity of the essential oil from Brazilian plants against *Ae. Aegypti* Linn", *Mem Inst Oswaldo Cruz* 99:541-544.
- [3] Pet J. 1997. "Destructive fishing methods in and around Komodo National Park". SPC Live Reef Fish Information Bulletin. May 1997.
- [4] Saputera, Mangunwidjaja D., Raharja S., Kardono LBS, and Iswantini D. 2006. "Gas chromatography and gas chromatography- mass spectrometry: Analysis of Indonesian *Croton tiglium* Seed", *J. Appl.Sci.* 6(7) : 1576-1580.
- [5] Thamrin U.2002. "Tanaman kemandah pembunuh jentik nyamuk demam berdarah", *Sinar harapan* 6 Februari 2002. [terhubung berkala] www.terranel.co.id. [3 Maret 2007].

NATA DE CASSAVA DARI LIMBAH CAIR TAPIOKA SEBAGAI MEMBRAN SELULOSA ASETAT

Betty Marita Soebrata^{1*}, S Mulijani², Charisna Desita Shinta Sani³

Departemen Kimia FMIPA Institut Pertanian Bogor, Bogor^{1*2,3}
bettymarita@gmail.com

ABSTRAK

Limbah cair tapioka mengandung bagian sisa pati yang tidak terekstraksi serta komponen selain pati yang terlarut dalam air. Alternatif penanganan limbah ini dapat dilakukan melalui proses bioteknologi dengan bantuan *Acetobacter xylinum* yang akan menghasilkan *nata*. *Nata* tersebut berupa selulosa yang dihasilkan oleh bakteri sehingga disebut sebagai selulosa bakteri. Selulosa bakteri dapat dijadikan sebagai bahan dasar membran selulosa dan dapat dimodifikasi menjadi selulosa asetat agar memiliki nilai ekonomi yang tinggi melalui proses asetilasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selulosa asetat memiliki kadar asetil sebesar 40.38% (setara derajat substitusi 2.2–2.7) dan kadar air sebesar 21.49%. Kemampuan membran selulosa asetat diukur berdasarkan nilai fluks air dan indeks rejeksi sukrosa. Nilai fluks rerata tertinggi dimiliki oleh membran dengan tekanan 7.5 psi sebesar 192.74 L/m².jam. Nilai fluks tersebut menunjukkan bahwa membran yang diperoleh dalam penelitian ini adalah membran mikrofiltrasi. Rerata indeks rejeksi pada membran sebesar 27.17% yang artinya pemisahan partikel sukrosa dari konsentrasi umpan 1000 ppm yang terpisah sebesar 271.7 ppm.

Katakunci: *nata de cassava*, tapioka, membran, nilai flux, index rejeksi

1 PENDAHULUAN

Ubi kayu atau singkong merupakan bahan pangan yang banyak diproduksi di Indonesia. Menurut data Biro Pusat Statistik (2011), produksi tanaman ubi kayu di Indonesia mencapai 22.900.207 ton. Komposisi kimia singkong per 100 g mengandung air (62.500 g), karbohidrat (34.700 g), protein (1.200 g), lemak (0.300 g), dan 140.000 kalori. Singkong dapat digunakan sebagai bahan baku industri pangan, salah satunya adalah industri tapioka. Tapioka dapat diolah lebih lanjut menjadi dekstrin, glukosa, etanol, dan senyawa kimia lainnya. Industri pengolahan tepung tapioka menghasilkan limbah paling banyak. Untuk setiap ton ubi kayu, diperlukan air sejumlah 18.000 liter untuk industri pengolahan tradisional dan 8.000 liter untuk industri modern. Jumlah limbah cair yang cukup besar ini umumnya belum dimanfaatkan.

Limbah cair tapioka dapat dihasilkan dari tahap pencucian bahan baku (singkong) serta dari proses pengendapan untuk memisahkan pati dari airnya. Komponen limbah ini merupakan bagian sisa pati yang tidak terekstraksi serta komponen selain pati yang

terlarut dalam air. Limbah cair akan mengalami dekomposisi secara alami di badan-badan perairan dan menimbulkan bau yang tidak sedap. Bau tersebut dihasilkan pada proses penguraian senyawa yang mengandung nitrogen, fosforus, dan bahan berprotein. Oleh karena itu, limbah cair tapioka perlu diolah menjadi produk yang dapat dimanfaatkan, antara lain *nata*.

Penanganan limbah cair tapioka melalui proses bioteknologi dengan bantuan bakteri *A. xylinum*, akan menghasilkan *nata de cassava*. *Nata* merupakan selulosa yang dihasilkan oleh bakteri. Selulosa bakteri ini dapat dimodifikasi menjadi selulosa asetat agar memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi. Pembentukan selulosa asetat telah banyak dilaporkan [6, 7]. Penelitian-penelitian tersebut menggunakan media yang berbeda-beda untuk membuat *nata*. Penelitian lebih lanjut membuktikan bahwa selulosa asetat dapat diaplikasikan menjadi membran [6]. Selulosa bakteri atau *nata* sangat murni karena bebas dari lignin dan hemiselulosa. Selulosa bakteri juga bersifat biodegradabel, dapat didaur ulang, biokompatibel, karena memiliki kelembaman metabolik, nontoksik, dan nonalergenik, serta memiliki sifat elastis dan kenyal dengan ketahanan bentuk yang tinggi.

Membran digunakan sebagai teknik pemisahan yang cepat, mudah dalam pengoperasiannya, serta tidak merusak bahan. Kendala pengembangan membran adalah tingginya harga bahan baku. Oleh karena itu, perlu dicari alternatif bahan baku yang murah, yaitu *nata* dari limbah cair tapioka.

Penelitian ini mempelajari kemampuan membran selulosa asetat berbahan dasar limbah cair tapioka sebagai teknik pemisahan berdasarkan nilai fluks air dan indeks rejeksi. Dengan demikian limbah cair dapat diolah menjadi bahan baku pembuatan membran selulosa asetat yang bernilai ekonomis tinggi.

2 METODE PENELITIAN

2.1. Pembuatan *Nata de Cassava*

Nata de cassava dibuat dengan modifikasi prosedur [1] dan Sumiyati [11]. Limbah cair tapioka disaring terlebih dahulu untuk menghilangkan pengotor yang ada. Filtrat diambil sebanyak 1000 mL kemudian ditambahkan gula pasir sebanyak 10% (b/v) dan amonium sulfat sebanyak 0.5% (b/v). Setelah itu, dipanaskan hingga mendidih sambil diaduk. Larutan yang telah mendidih dituang ke wadah fermentasi yang telah disiapkan kemudian diatur pH-nya menjadi 3.5-4.5 dengan penambahan asam asetat glasial. Wadah yang telah berisi larutan media fermentasi lalu ditutup dengan kertas steril dan diikat

dengan karet. Keesokan harinya, sebanyak 20% (v/v) inokulum dimasukkan ke dalam media dan diinkubasi selama 5 hari pada suhu kamar hingga terbentuk *nata*.

2.2. Pembuatan Serbuk Kering Selulosa Bakteri

Prosedur ini merupakan modifikasi dari penelitian Pasla [2, 6]. Lembaran *nata de cassava* dicuci dengan air kemudian direbus hingga mendidih untuk menghilangkan bakteri yang tersisa pada lembaran *nata*. Selanjutnya, lembaran *nata* dimasukkan ke dalam corong Büchner untuk mengeluarkan air yang ada di dalam *nata* dengan bantuan vakum hingga diperoleh lembaran membran tipis yang masih basah. Lembaran tipis tersebut dikeringkan lalu digerus dengan mortar hingga berbentuk serbuk.

2.3. Sintesis Selulosa Asetat

Asetilasi serbuk selulosa kering dilakukan dengan modifikasi prosedur [6]. Sebanyak 1.8 g serbuk selulosa bakteri ditimbang di dalam botol plastik bertutup ganda, kemudian ditambahkan 100 mL asam asetat. Botol dikocok kuat selama 1 menit, lalu dikocok secara kontinu selama 20 menit. Setelah itu, serbuk disaring-vakum dengan corong Büchner dan diperas sekuat-kuatnya. Proses yang sama diulangi sekali lagi. Selanjutnya, serbuk direndam dalam 50 mL asam asetat selama 3 jam, lalu kembali disaring-vakum, diperas sekuat-kuatnya dan dimasukkan ke dalam wadah yang baru.

Serbuk selulosa kemudian ditambahkan larutan asam asetat glasial- H_2SO_4 dengan nisbah 100:1 (10:0.1 mL) dan diaduk kuat. Setelah itu, anhidrida asam asetat dengan nisbah 1:5 ditambahkan ke dalamnya dengan pipet tetes sedikit demi sedikit sambil diaduk dengan batang pengaduk hingga mengental, dan didiamkan selama 2 jam. Setelah proses asetilasi selesai, suspensi dihidrolisis dengan 2.4 mL larutan asam asetat glasial-air suling (2:1) dan diaduk pada beberapa menit pertama. Larutan kemudian didiamkan selama 30 menit terhitung sejak awal penambahan asam asetat encer, lalu disentrifugasi selama 15 menit pada kecepatan 4.000 rpm. Supernatan yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam gelas piala berisi 500 mL air suling dan diaduk sekuat mungkin dengan pengaduk magnet hingga terbentuk serpihan selulosa asetat berwarna putih.

Serpihan selulosa asetat yang diperoleh disaring-vakum dengan corong Büchner dan dicuci dengan $NaHCO_3$ 1 N hingga gelembung gas CO_2 menghilang, lalu dicuci kembali dengan air suling. Serpihan netral ini diperas lalu dikeringkan dalam oven dengan suhu

50 °C hingga selulosa asetat yang diperoleh benar-benar kering. Produk selulosa asetat yang dihasilkan selanjutnya dianalisis kadar air dan kadar asetilnya.

2.4. Pembuatan Membran Selulosa Asetat

Membran selulosa asetat dibuat dengan menggunakan metode pembalikan fase, yaitu teknik penguapan pelarut yang mengacu pada [6, 10]. Untuk memperoleh membran selulosa asetat yang baik, komposisi selulosa asetat sebaiknya lebih besar dari 10% (b/v). Selulosa asetat yang digunakan pada penelitian ini sebesar 14% (b/v). Pada tahap pertama, selulosa asetat dilarutkan, kemudian larutan polimer ini dituangkan di atas pelat kaca yang telah diberi selotip di kedua sisinya dan dicetak. Larutan diratakan dengan menggunakan batang pengaduk hingga diperoleh lapisan tipis yang menempel di atas pelat kaca. Pelarut yang tersisa diuapkan pada suhu kamar, lalu pelat kaca direndam dalam air suling hingga membran yang menempel terlepas dari kaca.

2.5. Pencirian Membran

Membran dapat dibedakan berdasarkan struktur, ukuran, pori, sifat fisik, dan mekanik. Ciri-ciri ini merupakan salah satu faktor yang dapat diperhatikan dalam menentukan kinerja membran. Contohnya antara lain nilai fluks dan rejeksi atau selektivitas.

2.5.1. Fluks Air

Sampel membran dengan ukuran 16×4 cm ditempatkan dalam alat penyaring *crossflow*. Alat tersebut dihubungkan dengan pompa, pengukur, dan pengatur tekanan. Akuades dialirkan ke dalam alat dengan menggunakan pompa. Tekanan aliran air diatur dengan variasi sebesar 5.0 dan 7.5 psi. Permeat ditampung di dalam gelas ukur dan dihitung setiap 3 menit selama 30 menit. Pengukuran dilakukan terhadap seluruh jenis membran dan pada tiap tekanan yang digunakan. Fluks dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$J = \frac{V}{A \cdot t}$$

dengan J = fluks (L/jam.m²)

V = volume permeat (L)

A = luas membran yang dilalui (m²)

t = waktu (jam)

2.5.2. Indeks Rejeksi Sukrosa

Pengukuran indeks rejeksi sukrosa hanya dilakukan pada tekanan optimum, pada keadaan tunak. Metode dan alat yang digunakan sama seperti pada penentuan fluks air, tetapi sukrosa digunakan sebagai umpan. Permeat sukrosa yang diperoleh pada keadaan tunak direaksikan dengan menggunakan metode Folin Wu. Indeks rejeksi dihitung dari nisbah antara konsentrasi permeat dan umpan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Rejeksi (\%)} = 1 - \left(\frac{C_p}{C_v} \right) \times 100\%$$

dengan C_p = konsentrasi permeat

C_v = konsentrasi umpan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. *Nata de cassava*

Limbah cair tapioka mengandung glukosa sebagai unsur karbon sehingga dapat digunakan sebagai medium untuk merangsang pertumbuhan *A. xylinum* saat membentuk *nata*. Bakteri ini mempunyai kemampuan memolimerisasi glukosa menjadi selulosa. Selanjutnya selulosa tersebut membentuk matriks yang disebut *nata*. *Nata* yang terbentuk dinamakan *nata de cassava*. *Nata* yang diperoleh berwarna putih dengan ketebalan 0.5 cm (Gambar 1).



Gambar 1 *Nata de cassava*.

Aktivitas pembentukan *nata* terjadi pada kisaran pH 3.5-4.5. Karena itu pengaturan pH dilakukan dengan penambahan asam asetat glasial. Pembentukan *nata* membutuhkan unsur C yang berasal dari glukosa serta unsur N yang berasal dari amonium sulfat. Sumber nitrogen dari bahan anorganik seperti amonium sulfat memiliki harga ekonomis, namun kualitasnya setara dengan nitrogen organik. Gula digunakan sebagai sumber

energi dan untuk perbanyakkan sel. Apabila nisbah antara karbon dan nitrogen diatur secara optimum, dan prosesnya terkendali dengan baik, maka semua cairan akan berubah menjadi *nata* tanpa meninggalkan residu sedikitpun.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap hasil *nata* adalah wadah fermentasi. Agar hasil *nata* lebih banyak digunakan wadah yang berbentuk segi empat dan luas permukaannya besar. Hal ini disebabkan pada kondisi tersebut pertukaran oksigen dapat berlangsung dengan baik [5]. Gas CO₂ yang dihasilkan oleh bakteri *A. xylinum* secara bertahap mengapungkan *nata* ke permukaan.

Perendaman *nata* dalam NaOH 1% diperlukan untuk membengkakkan struktur selulosa. Hal ini akan membuka serat-serat selulosa, dan mengurangi ikatan hidrogen intramolekul. Aksesibilitas ini akan memudahkan proses asetilasi, yaitu penggantian gugus -OH dengan gugus -O₂CCH₃. Proses pembengkakan ini dapat menimbulkan kristalinitas struktur apabila tidak dinetralkan dengan asam asetat 1%. Oleh karena itu, diperlukan perendaman asam asetat 1% untuk mengurangi kristalinitas struktur selulosa.

3.2. Selulosa Asetat

Selulosa asetat merupakan salah satu ester selulosa yang dapat disintesis dari bahan selulosa melalui proses asetilasi. Selulosa bakteri yang telah dikeringkan direndam dalam larutan asam asetat. Perendaman ini bertujuan menarik air. Asetilasi mensyaratkan kondisi bebas-air untuk meningkatkan reaktivitas selulosa. Selulosa bebas-air kemudian diasetilasi dengan anhidrida asetat serta asam sulfat atau asam perklorat sebagai katalis [3].

Hasil optimalisasi [2] menunjukkan bahwa proses asetilasi menggunakan nisbah selulosa bakteri-anhidrida asetat 1:5 selama 1 jam. Penambahan anhidrida asetat setetes demi setetes yang diikuti pengadukan dalam proses asetilasi dapat menjaga suhu larutan tetap rendah. Asetilasi adalah reaksi yang eksoterm, maka suhu harus dijaga tetap rendah agar tidak terjadi degradasi rantai selulosa. Proses asetilasi dihentikan dengan menggunakan proses hidrolisis, kemudian disentrifus.

Supernatan yang diperoleh merupakan selulosa asetat yang terbentuk, sedangkan selulosa yang tidak terasetilasi akan mengendap. Supernatan didispersikan ke dalam air suling sehingga diperoleh serpihan selulosa asetat berwarna putih kecokelatan. Semakin

bertambah komposisi selulosa asetat dalam membran, membran akan semakin kaya polimer sehingga strukturnya makin rapat dan ukuran porinya semakin kecil.

Selulosa asetat yang diperoleh dalam penelitian ini memiliki nilai kadar asetil 40.38% dan kadar air 21.49%. Kadar asetil merupakan ukuran jumlah asam asetat yang teresterkan pada rantai selulosa dan akan menentukan nilai derajat substitusi. Menurut Immergut [5], selulosa asetat yang larut dalam aseton memiliki nilai derajat substitusi antara 2.2 dan 2.6 yang dapat diaplikasikan pada pernis, plastik, rayon asetat, film, dan sinar-X.

Tabel 1 Hubungan derajat substitusi dengan kadar asetil

Derajat substitusi	Kadar asetil (% bobot)
0.6-0.9	13.0-18.6
1.2-1.8	22.2-32.2
2.2-2.7	36.5-42.2
2.8-3.0	43.0-44.8

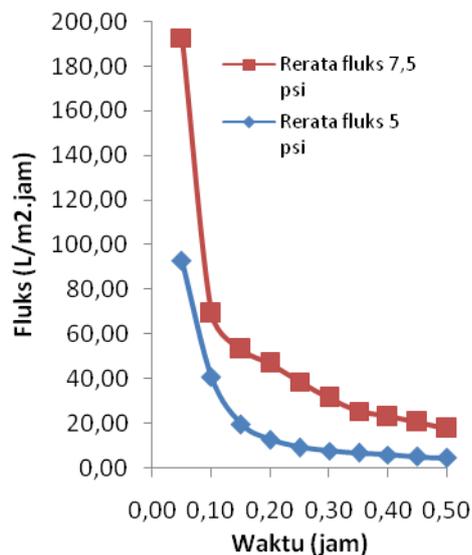
Sumber: Fengel & Wegener (1984).

3.3. Pencirian Membran Selulosa Asetat

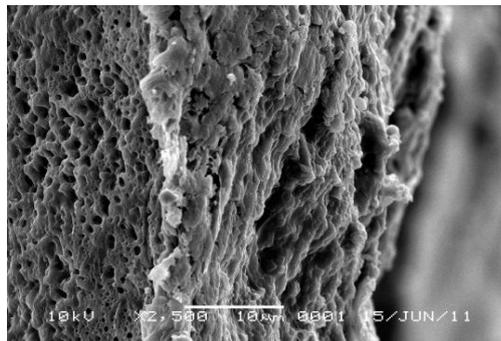
Membran selulosa asetat diperoleh dengan menggunakan metode pembalikan fase. Larutan polimer dicetak dengan cara menariknya menggunakan kaca pengaduk. Hal tersebut menyebabkan ketebalan membran yang tidak rata pada tiap sisinya. Konsentrasi selulosa asetat yang digunakan untuk membentuk membran adalah 14% (b/v), yang merupakan hasil optimasi [11]. Membran yang dihasilkan berwarna putih kecokelatan seperti plastik.

Pencirian membran yang dilakukan meliputi fluks air dan indeks rejeksi sukrosa 1000 ppm. Pengukuran fluks air terhadap membran selulosa asetat dilakukan pada tekanan 5 dan 7.5 psi (Gambar 2) dengan melewati air akuades melalui alat saring *cross flow*. Hasil fluks memperlihatkan bahwa membran yang diperoleh dalam penelitian ini termasuk membran mikrofiltrasi, karena memiliki kisaran nilai fluks lebih dari 50 L/m².jam. Hal ini didukung oleh hasil SEM penelitian Putri [8] (Gambar 3) yang menunjukkan bahwa selulosa asetat dari limbah cair tapioka termasuk membran mikrofiltrasi asimetris. Morfologi membran mikrofiltrasi asimetris mempunyai pori-pori yang tidak seragam dan berukuran mikro pada permukaan [3].

Nilai fluks membran berbanding terbalik terhadap waktu. Kendala utama dalam penggunaan teknologi membran adalah menurunnya nilai fluks permeat yang disebabkan oleh 2 faktor, *fouling* dan kompaksi. Seiring bertambahnya waktu, nilai fluks membran cenderung turun. Fenomena ini ditunjukkan pada Gambar 3. Penurunan nilai fluks air murni dalam proses membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi biasanya kurang dari 5%. Hal ini didukung oleh hasil SEM penelitian Putri [8] (Gambar 4) yang menunjukkan bahwa selulosa asetat dari limbah cair tapioka termasuk membran mikrofiltrasi asimetris. Morfologi membran mikrofiltrasi asimetris mempunyai pori-pori yang tidak seragam dan berukuran mikro pada permukaan [3]. Penurunan fluks pada Gambar 3 berlangsung terus-menerus hingga mencapai kondisi tunak. Hal ini dapat disebabkan karena adanya kompaksi.



Gambar 2 Hubungan rerata fluks air pada berbagai variasi tekanan terhadap waktu.



Gambar 3 Morfologi penampang lintang membran.

Kompaksi membran merupakan suatu perubahan mekanik pada struktur membran polimer yang terjadi akibat gaya dorong ΔP . Semakin lama waktu yang dikenakan, kompaksi membran akan berlangsung semakin cepat. Hal ini berhubungan dengan jenis

membran selulosa asetat yang bersifat hidrofilik. Kemampuan membran selulosa asetat dalam menyerap air (umpan) dapat mengubah strukturnya. Struktur selulosa asetat menjadi lebih kompak dan selama proses berlangsung, pori-pori membran merapat sehingga menghasilkan penurunan nilai fluks. Bahkan, setelah relaksasi (dengan cara menurunkan tekanan pada proses) nilai fluks tidak dapat kembali ke nilai awalnya karena gejala ini bersifat tidak dapat balik.

Nilai fluks berbanding lurus dengan variasi tekanan. Semakin tinggi tekanan, nilai fluksnya semakin bertambah, terlihat pada Gambar 2. Pengukuran nilai rejeksi membran dilakukan pada tekanan 7.5 psi, nilai fluks air terbesar pada kondisi tersebut (Gambar 2). Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut, kemampuan membran meneruskan air lebih banyak. Karena itu, bila diaplikasikan pada rejeksi membran akan menghasilkan permeat yang lebih banyak. Permeat adalah larutan yang memiliki konsentrasi lebih rendah daripada larutan umpan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran yang diperoleh merupakan membran mikrofiltrasi. Membran mikrofiltrasi dapat memisahkan molekul dengan ukuran pori berkisar 0.1-10 μm . Proses ini cocok untuk memisahkan makromolekul. Makromolekul yang digunakan adalah sukrosa dengan BM 342.30 g/mol. Larutan umpan sukrosa 1000 ppm diambil permeatnya sebesar 5 mL untuk diukur nilai indeks rejeksinya dengan bantuan kurva standar sukrosa. Permeat yang diperoleh, diukur konsentrasi sukrosa dengan menggunakan metode Folin Wu.

Selain fluks air, kinerja membran ditentukan oleh nilai rejeksi membran. Membran yang sempurna akan mempunyai nilai rejeksi 90–100%. Nilai rejeksi ini menunjukkan jumlah (%) umpan yang ditolak membran. Nilai rejeksi yang diperoleh pada membran selulosa asetat yaitu 18.70, 27.95, dan 34.87. Rerata indeks rejeksi sebesar 27.17%. Berdasarkan nilai rejeksi membran, dapat diambil keputusan bahwa membran ini belum cukup baik untuk memisahkan makromolekul dalam kurun waktu tertentu. Upaya untuk dapat menghasilkan membran yang baik dapat dilakukan dengan menaikkan konsentrasi selulosa asetat yang terlarut atau dengan mencampurkan bahan polimer yang dapat memperkecil pori membran. Konsentrasi polimer pembentuk membran sangat memengaruhi ciri membran yang terbentuk. Semakin tinggi konsentrasi polimer pembentuknya, membran yang dihasilkan akan semakin padat sehingga fluks membran akan semakin kecil.

4. SIMPULAN

Membran selulosa asetat pada penelitian ini berbahan dasar limbah cair tapioka. Selulosa asetat hasil sintesis memiliki nilai kadar asetil 40.38% dan kadar air 21.49%. Membran selulosa asetat optimum pada tekanan 7.5 psi dengan nilai fluks rerata terbesar 192.74 L/m².jam. Nilai indeks rejeksi sukrosa 1000 ppm adalah 27.17%. Dilihat dari nilai fluks, membran ini mempunyai potensi sebagai membran mikrofiltrasi.

PUSTAKA

- [1] Arviyanti E, Yulimartani N. 2009. Pengaruh penambahan air limbah tapioka pada proses pembuatan *nata* [skripsi]. Semarang: Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [2] Arifin B. 2004. Optimasi kondisi asetilasi selulosa bakteri dari *nata de coco* [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [3] Basta AH, El Saeid H. 2008. Enhanced transport properties and thermal stability of agro-based RO membrane for desalination of brackish water. *J Memb Sci* 310:208–218..
- [4] Hu Weili, Chen S, Xu Q, Wang H. 2011. Solvent-free acetylation of bacterial cellulose under moderate conditions. *Carbohydr Polym* 83:1575-1581.
- [5] Immergut EH. 1975. Cellulose. Di dalam: Browning BL, editor. *The Chemistry of Wood*. New York: J Wiley.
- [6] Lapuz MM, Gallerdo EG, Palo MA. 1967. The nata organism-cultural requirements, characteristics and identity. *Philippines J Sci* 96:91-111.
- [7] Pasla FR. 2006. Pencirian membran selulosa asetat berbahan dasar selulosa bakteri dari limbah nanas [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [8] Putri TPD. 2006. Ciri membran selulosa berpori dari sari kulit nanas [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [9] Sumiyati. 2009. Kualitas *nata de cassava* limbah cair tapioka dengan penambahan gula pasir dan lama fermentasi yang berbeda [skripsi]. Solo: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [10] Soetanto E. 2001. *Membuat Patilo dan Kerupuk Ketela*. Yogyakarta: kanisius.
- [11] Yulianawati N. 2002. Kajian pengaruh nisbah selulosa dengan pereaksi asetilasi dan lama asetilasi terhadap produksi selulosa dari *nata de coco* [skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

EKSTRAKSI KARAGINAN DARI RUMPUT LAUT *EUCHEUMA COTTONII* MENGGUNAKAN DUA METODE EKSTRAKSI

Ahmad Sjahriza^{1*}, Sri Sugiarti¹, Niken Pratiwi¹

¹Departemen Kimia, FMIPA IPB, Bogor
*sjahriza@gmail.com

ABSTRAK

Kappa Karaginan merupakan salah satu jenis hidrokoloid yang diekstrak dari rumput laut golongan ganggang merah (*Rhodophyceae*) dari spesies *Eucheuma cottonii*. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan dua metode ekstraksi, yaitu metode konvensional dan metode gelombang mikro. Ekstraksi dengan metode konvensional dilakukan pemanasan dengan menggunakan *hot plate* selama 3 jam, sedangkan metode gelombang mikro dilakukan ragam kondisi variasi daya (medium, dan high) dan waktu (5,10,15,20,25,30 menit). Keseluruhan hasil ekstraksi di uji viskositas dengan alat viskometer *Brookfield*. Titik optimum didapat dari hasil pengujian, yaitu pada menit ke-25 pada daya high dengan nilai viskositas 410.18-428.00 cps. Nilai viskositas optimum dari keempat pelarut diujikan kekuatan gelnya dan diidentifikasi gugus fungsi dengan FTIR. Nilai kekuatan gel optimum yang didapat berkisar 1055.5190-1097.1776 g/cm² pada daya high. Spektrum FTIR menunjukkan bahwa karagenan baik metode konvensional maupun metode gelombang mikro memperlihatkan struktur kimia karaginan jenis kappa, yaitu adanya puncak absorpsi yang sangat kuat pada daerah 1210-1260 cm⁻¹ (ikatan S=O pada ester sulfat), daerah 1010-1080 cm⁻¹ (ikatan Glikosida), dan daerah 840-850 cm⁻¹ (galaktosa-4-sulfat).

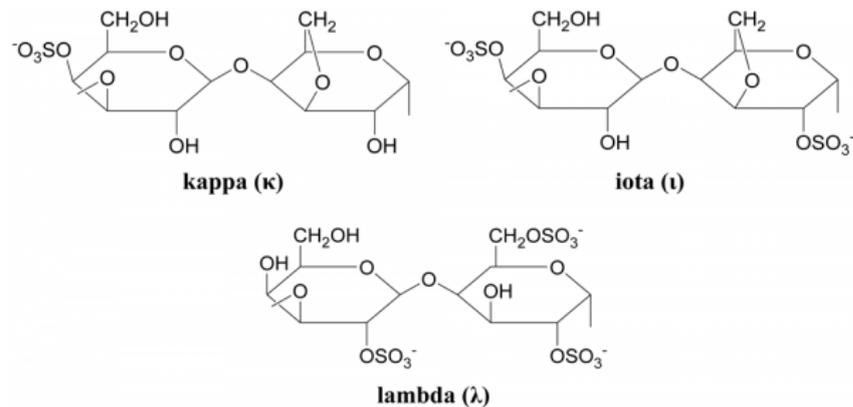
Kata Kunci: kappa karaginan, metode konvensional, metode gelombang mikro, viskositas, kekuatan gel

1 PENDAHULUAN

Salah satu hasil ekstrak rumput laut yang penting adalah karaginan yang merupakan salah satu jenis hidrokoloid yang diekstrak dari rumput laut golongan ganggang merah (*Rhodophyceae*). Karaginan dibagi dalam tiga jenis yaitu, lambda (λ) karaginan diekstraksi dari *Eucheuma spinosum*, iota (ι) karaginan dari *Chondrus crispus*, dan kappa (κ) karaginan dihasilkan dari *Eucheuma cottonii* (Istini & Zatnika 1991). Perbedaan jenis karaginan hanya dari posisi dan nomor gugus ester sulfatnya seperti terlihat pada Gambar 1, dan hal inilah yang menentukan sifat fisik seperti viskositas, gelatinisasi dari karaginan, dan viskoelastisitas dari fase padat maupun gel, sehingga dapat divariasikan dengan baik pada berbagai aplikasi (Iglauer 2011).

Penggunaan karaginan cukup luas, baik untuk produk pangan maupun non pangan. Karaginan larut dalam air panas, air dingin, susu, dan larutan gula,

sehingga digunakan sebagai pengental atau penstabil pada berbagai minuman atau makanan. Karaginan juga dapat diaplikasikan pada produk non pangan sebagai pembentuk gel, pengental, *coating* pada industri-industri kosmetik, tekstil, cat, obat-obatan, pakan, ternak, dan lain-lain (Kadajji 2011).



Gambar 1 Struktur Kimia Masing-Masing Karaginan

Pengambilan karaginan dari rumput laut melalui beberapa tahap, yaitu perendaman, ekstraksi, pemisahan karaginan dengan pelarutnya, kemudian pengeringan (Imeson 2000). Menurut Freile-Pelegrin (2006), rendemen dan sifat karaginan dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain jenis rumput laut, metode ekstraksi, metode presipitasi, metode pengeringan, dan metode fraksinasi. Hal ini menunjukkan komposisi karaginan akan berbeda disetiap metode pengolahannya. Ekstraksi kappa-karaginan dari rumput laut secara konvensional membutuhkan waktu yang lama dan rendemen yang dihasilkan tidak cukup banyak. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses pemisahan kappa-karaginan dari rumput laut dengan teknik yang lain, seperti menggunakan gelombang mikro.

Ekstraksi menggunakan gelombang mikro memiliki kelebihan dibandingkan ekstraksi dengan pemanasan konvensional, yaitu lebih cepat, kebutuhan pelarut lebih sedikit dan rendemen ekstraksi yang lebih tinggi. Kelebihan lain penggunaan gelombang mikro adalah pemanasan lebih merata karena bukan mentransfer panas dari luar tetapi membangkitkan panas dari dalam bahan tersebut. Pada penelitian ini, ekstraksi kappa karaginan dari rumput laut *Eucheuma cottonii* dilakukan melalui proses ekstraksi menggunakan gelombang mikro agar dihasilkan rendemen yang tinggi dengan waktu ekstraksi yang cepat

serta kualitas kappa karaginan yang dihasilkan lebih baik dengan melihat pengaruh ragam variasi daya dan waktu yang digunakan pada alat microwave, serta menganalisis sifat-sifat fisik dan kimia dari rendemen yang dihasilkan seperti viskositas, kekuatan gel, dan analisis kappa karaginan dengan menggunakan spektrum inframerah yang dibandingkan dengan literatur.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, diantaranya proses ekstraksi dengan metode konvensional dan metode gelombang mikro, penentuan viskositas, kekuatan gel, serta analisis spektrum inframerah dari rendemen optimum yang dihasilkan.

2.1 Ekstraksi Kappa Karaginan dari Rumput Laut *Eucheuma cottonii* dengan Metode Konvensional

Pelarut basa (Imeson 2000). Rumput laut *Eucheuma cottonii* kering dengan berat 100 g direndam dengan akuades selama 24 jam, disaring kemudian dipotong-potong kecil (± 1 cm). Ekstraksi dilakukan dengan memanaskan pelarut basa (NaOH 0,5% dan KOH 0,5%) terlebih dahulu diatas pemanas listrik, setelah mencapai suhu 90°C rumput laut dimasukkan. Rasio rumput laut kering – pelarut (b/v) adalah 1:20. Ekstraksi dijalankan selama 3 jam sambil diaduk terus dan suhu dipertahankan tetap 90°C . Filtrat disaring menggunakan kain blacu, yang selanjutnya dipresipitasi menggunakan koagulan (Isopropanol (IPA) 5% (b/v) 1:1,5) sehingga terbentuk serat-serat hidrokoloid (serat karagenan). Serat ini disaring, kemudian dikeringkan dengan cara dijemur hingga beratnya konstan (kertas karagenan) yang kemudian dihancurkan menjadi tepung karaginan.

Akuades (Fadilah 2010). Rumput laut *Eucheuma cottonii* kering dengan berat 100 g direndam dengan pelarut basa (NaOH 0,5% dan KOH 0,5%) selama 24 jam, setelah itu dicuci bersih hingga berpH netral. Selanjutnya, rumput laut diekstraksi dengan akuades yang dipanaskan terlebih dahulu dengan pemanas listrik. Ketika suhu mencapai 90°C rumput laut dimasukkan. Rasio rumput laut kering – pelarut (b/v) adalah 1:20. Ekstraksi dijalankan selama 3 jam sambil terus diaduk dan suhu dipertahankan tetap 90°C. Setelah proses ekstraksi selesai, dilakukan penyaringan dalam keadaan panas menggunakan kain blacu. Tahap berikutnya adalah filtrat

dipresipitasi menggunakan koagulan (Isopropanol (IPA) 5% (b/v) 1:1,5) sehingga terbentuk serat-serat hidrokoloid (serat karagenan). Selanjutnya filtrat dikeringkan dengan cara dijemur hingga beratnya konstan dan diperoleh (kertas karagenan) yang kemudian dihancurkan menjadi tepung karaginan.

2.1 Ekstraksi Kappa Karaginan dari Rumput Laut *Eucheuma cottonii* dengan Metode Gelombang Mikro

Ekstraksi kappa karaginan menggunakan metode gelombang mikro pada prinsipnya sama dengan metode konvensional, hanya saja sumber panas yang digunakan untuk memanaskan pelarut pengekstrak bukan pemanas listrik, melainkan gelombang mikro yang berasal dari oven *microwave*. Pemanasan menggunakan gelombang mikro dilakukan dengan memvariasikan daya dan waktu. Daya dari oven *microwave* yang digunakan adalah daya medium (480 watt) dan daya tinggi (800 watt). Sementara variasi waktu ekstraksi yang dilakukan adalah antara 5 sampai dengan 30 menit.

2.3 Analisis Sifat Fisik dan Kimia Kappa Karaginan, serta Analisis Gugus Fungsinya Menggunakan Spektroskopi Inframerah

Viskositas (FMC Corp. 1977). Viskositas diukur menggunakan spindle viscometer Brookfield yang berputar pada kecepatan 60 rpm dengan jarum spindle yang sesuai dengan kekentalan gel yang terbentuk. Larutan karaginan diukur pada dua kondisi suhu, yaitu pada suhu ruang 30°C dan pada suhu 70°C di dalam penangas air.

Kekuatan Gel (FMC Corp. 1977). Gel karaginan dibuat dengan mencampur karaginan sebanyak 1,6 g dan KCl 0,16 g, dan selanjutnya dipanaskan dalam bak air mendidih dengan pengadukan teratur sampai suhu 80°C, dengan volume larutan 50 ml. Larutan panas dimasukkan ke dalam cetakan berdiameter kira-kira 4 cm dan dibiarkan pada suhu 10°C selama 2 jam. Gel dalam cetakan dimasukkan ke dalam alat ukur LFRA Tekstur Analyzer.

Analisis Kappa Karaginan dengan Spektrofotometri Inframerah. Sebanyak 0,0100 g ekstrak karaginan dicampurkan dengan 0,1000 g kalium bromida dalam kondisi tanpa air. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam oven pada suhu 60°C

selama 24 jam, selanjutnya diukur dengan menggunakan spektrofotometri inframerah untuk menentukan gugus fungsi senyawa.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi kappa karaginan menggunakan metode konvensional dengan pelarut basa NaOH dan KOH memberikan rendemen yang berbeda seperti terlihat pada Tabel 1. Rendemen merupakan indikator efisiensi dari proses ekstraksi rumput laut, semakin tinggi nilai rendemen semakin besar output yang dihasilkan. SNI 01-2690-1998 mensyaratkan kadar karaginan rumput laut kering tidak kurang dari 25%. Terlihat bahwa ekstraksi menggunakan larutan NaOH memberikan rendemen tertinggi, namun angka ini masih belum memenuhi persyaratan SNI. Larutan basa dalam ekstraksi karaginan memiliki dua fungsi yaitu membantu ekstraksi polisakarida dari rumput laut serta dapat mengkatalisis hilangnya gugus-6-sulfat dari unit monomernya dengan membentuk 3,6-anhidrogalaktosa sehingga dapat mengakibatkan kenaikan kekuatan gel (Distantina 2007).

Tabel 1 Rendemen Ekstrak Kappa Karaginan Metode Konvensional

Pelarut	Rerata Rendemen
NaOH	21.4875
KOH	11.2789
Air (Perendaman NaOH)	12.2129
Air (Perendaman KOH)	12.4115

Ekstraksi karaginan dengan menggunakan metode gelombang mikro menghasilkan rendemen dengan waktu yang lebih cepat dari metode konvensional seperti terlihat pada Tabel 2. Secara keseluruhan untuk ekstraksi baik menggunakan pelarut alkali maupun akuades memberikan hasil yang lebih cepat pada daya high, namun nilai rendemen yang diperoleh tidak berbeda jauh antara daya medium dan daya high. Rendemen karaginan menggunakan metode gelombang mikro dengan pelarut NaOH tetap menunjukkan nilai tertinggi, yaitu mencapai 26,29% pada daya medium gelombang mikro dalam waktu 30 menit. Waktu ekstraksi tercepat ditunjukkan oleh ekstraksi karaginan metode gelombang mikro dengan menggunakan pelarut KOH dimana ekstrak pertama kali diperoleh

pada menit ke-5 menggunakan daya high, sedangkan pada daya medium ekstrak diperoleh pada menit ke-15. Waktu ekstraksi yang cepat ini, yaitu menit ke-5 dapat disebabkan karena sifat KOH yang merupakan basa yang lebih kuat dibandingkan dengan NaOH. Untuk pelarut KOH, rendemen tertinggi senilai 26,20% dicapai pada daya *high* dalam waktu 30 menit.

Tabel 2 Rendemen Ekstrak Kappa Karaginan Metode Gelombang Mikro

Mode Daya	Waktu (menit)	Pelarut	% Rendemen	Pelarut	% Rendemen		
Medium	15	KOH	18.6276	Air (Perendaman KOH)	18.3640 20.3916 21.7572		
	20		21.0020				
	25		22.8760				
	30		23.9424				
High	5		12.1540		18.5972 20.5280 20.8712 21.9636 25.8772		
	10		19.2252				
	15		21.0048				
	20		22.5024				
	25		25.1048				
	30		26.2000				
Medium	20		NaOH		21.1960	Air (Perendaman NaOH)	17.7836
	25				21.5792		19.1208
	30	26.2980		21.0358			
High	10	17.0068					
	15	19.0988					
	20	21.3176		19.8340			
	25	21.4004		21.3500			
	30	23.6716		23.5640			
				23.9872			

Untuk pelarut air dengan perendaman KOH menunjukkan nilai rendemen tertinggi sebesar 25,88% dalam waktu 30 menit dengan daya high, sedangkan pelarut air dengan perendaman NaOH diperoleh ekstrak rendemen sebesar 23,56% dengan menggunakan daya *high* dalam waktu 30 menit. Teknik ekstraksi menggunakan gelombang mikro menunjukkan adanya hubungan antara waktu dengan jumlah rendemen yang dihasilkan, yaitu semakin lama waktu pemanasan dengan gelombang mikro, maka ekstrak yang diperoleh akan semakin banyak jumlahnya. Hal ini ditunjukkan bahwa pengaruh waktu ekstraksi terhadap suhu tersebut cenderung berbentuk kuadratik. Namun, hal ini belum tentu menjamin ekstrak yang dihasilkan menunjukkan sifat karaginan yang diinginkan.

Tabel 3 Hasil Uji Viskositas Kappa Karaginan Metode Konvensional

Pelarut	Konsentrasi (%)	Suhu (°C)	Rerata
NaOH	0,1	30	2,84
		70	2,16
	3	30	91,62
		70	26,6
KOH	0,1	30	2,56
		70	2,06
	3	30	145,44
		70	85,6
Air (rendam NaOH)	0,1	30	2,62
		70	2,42
	3	30	96,32
		70	69,64
Air (rendam KOH)	0,1	30	7,46
		70	4,86
	3	30	113,48
		70	56,16

Pengukuran viskositas menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi karagenan, semakin tinggi pula viskositasnya. Karaginan bersifat hidrofilik karena adanya muatan negatif dari gugus ester sulfat (OSO_3^-) yang ada padanya. Tolak-menolak antar muatan negatif tersebut antara dua rantai polimer karaginan membuat setiap rantai diselimuti oleh molekul-molekul air, yang kemudian terimobilisasi. Akibatnya, rantai polimer menjadi kaku dan larutannya menjadi kental dan viskositasnya meningkat (Iglauer 2011). Tabel 3 menunjukkan bahwa viskositas larutan karaginan pada kedua konsentrasi yang digunakan, berbanding terbalik dengan suhu. Diduga hal ini diakibatkan terjadinya depolimerisasi pada suhu yang tinggi dan mengakibatkan degradasi karaginan.

Hal serupa ditunjukkan oleh ekstrak karagenan menggunakan metode gelombang mikro. Selain itu ditunjukkan pula bahwa semakin tinggi daya gelombang mikro yang digunakan dan semakin lama waktu ekstraksi, semakin tinggi viskositas larutan kappa karaginan yang dihasilkan. Nilai viskositas tertinggi ditunjukkan oleh hasil ekstraksi yang dilakukan selama 25 menit. Namun, pada menit ke-30 terjadi penurunan viskositas, diduga telah terjadi kerusakan struktur polimer kappa karaginan. Tabel 4 menunjukkan nilai viskositas tertinggi untuk pelarut alkali dicapai pada daya medium menit ke-25 dengan konsentrasi 3% pada suhu 30°C dan 70°C adalah 193,5 dan 95,6 cPs untuk pelarut KOH, serta 158,8 dan 90,9 cPs untuk pelarut NaOH. Nilai viskositas

tertinggi ini merupakan nilai optimum untuk waktu dan daya yang digunakan untuk ekstraksi karaginan menggunakan pelarut KOH maupun NaOH dengan memakai alat *microwave* dan juga yang digunakan pada uji kekuatan gel dan analisis gugus fungsi.

Tabel 4 Hasil Uji Viskositas Kappa Karaginan Metode Gelombang Mikro

t	M	T	Rerata							
			KOH		NaOH		Air (KOH)		Air (NaOH)	
			med	high	med	high	med	high	med	high
20	0,1	30	4,0	3,2	2,6	2,4	4,5	5,1	2,7	3,4
		70	2,5	2,2	2,3	2,1	3,5	3,8	2,7	2,7
	3	30	177,0	135,2	37,8	20,2	73,8	207,1	166,9	234,4
		70	71,5	20,5	7,5	15,5	39,4	167,1	46,4	157,4
25	0,1	30	4,6	3,2	2,9	2,4	4,6	6,1	3,8	3,6
		70	3,5	2,4	2,5	2,2	3,7	4,7	3,6	3,2
	3	30	193,5	142,3	158,8	49,3	221,4	410,2	198,9	428,0
		70	95,6	50,0	90,9	19,6	124,2	250,5	144,4	212,4
30	0,1	30	2,7	3,0	2,5	2,4	3,3	5,3	3,8	3,54
		70	1,9	2,2	2,3	2,1	3,2	4,2	3,2	2,9
	3	30	108,2	138,2	90,7	32,3	188,6	326,4	177,5	343,0
		70	54,7	35,3	71,7	3,6	83,3	200,9	34,4	201,2

Keterangan: t: waktu dalam menit; M: konsentrasi (%); T: suhu dalam °C. Data antara 5 sampai dengan 15 menit tidak ditampilkan karena tidak semua menghasilkan rendemen.

Sementara itu nilai viskositas tertinggi untuk ekstrak kappa karaginan menggunakan air dicapai pada daya high menit ke-25 dengan konsentrasi 3%, masing-masing pada suhu 30°C dan 70°C adalah 410,2 dan 250,5 cPs untuk pelarut air (perendaman KOH), serta 428,0 dan 212,4 cPs untuk pelarut air (perendaman NaOH). Nilai viskositas tertinggi ini merupakan nilai optimum untuk waktu dan daya yang digunakan untuk ekstraksi karaginan menggunakan pelarut air baik pada perendaman KOH maupun perendaman NaOH dengan memakai alat *microwave* dan selanjutnya digunakan pada pengujian kekuatan gel serta analisis gugus fungsi.

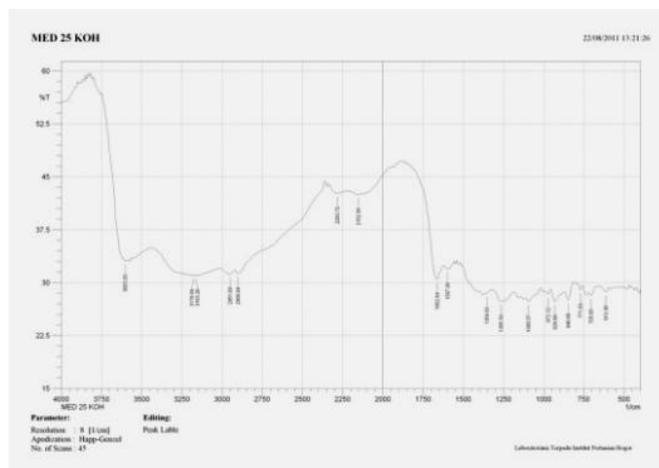
Perbedaan daya pada penggunaan gelombang mikro dibedakan dari jenis pelarut yang digunakan. Daya medium optimum digunakan bila perlakuan awal terhadap rumput laut *Eucheuma cottonii* dilakukan perendaman dengan menggunakan air dan selanjutnya dilakukan ekstraksi dengan menggunakan pelarut basa, sedangkan daya high optimum digunakan bila perlakuan awal terhadap rumput laut *Eucheuma cottonii* dilakukan perendaman dengan menggunakan basa terlebih dahulu dan selanjutnya dilakukan ekstraksi dengan menggunakan pelarut air. Nilai viskositas optimum dari perbedaan perlakuan tersebut ditunjukkan oleh pelarut air dengan perlakuan awal perendaman basa berupa NaOH mencapai 428,00 cPs.

Pengujian terhadap kekuatan gel dilakukan pada keempat sampel yang memiliki nilai viskositas tertinggi dan juga merupakan nilai optimum metode gelombang mikro. Hasil penelitian pada table 5 menunjukkan bahwa nilai kekuatan gel berkisar 818,62-1097,18 g/cm². Nilai kekuatan gel tertinggi ditunjukkan oleh ekstrak pelarut air (perendaman NaOH) mencapai 1097,18 g/cm², sedangkan kekuatan gel terendah ditunjukkan oleh ekstrak pelarut NaOH hanya 818,62 g/cm². Nilai kekuatan gel untuk ekstrak pelarut KOH dan pelarut air (perendaman KOH) masing-masing 1038,96 g/cm² dan 1055,52 g/cm². Hasil menunjukkan bahwa ekstrak dari pelarut air perendaman KOH pada daya high dengan waktu 25 menit memiliki nilai kekuatan gel tertinggi dibandingkan ekstrak lainnya. Kekuatan gel merupakan sifat fisik utama, karena kekuatan gel menunjukkan kemampuan karaginan dalam pembentukan gel yang disebut kekuatan gel. Kappa karaginan akan membentuk gel reversibel yang prosesnya dipengaruhi oleh pemasakan dan pendinginan larutan (Glicksman, 1983)

Tabel 5 Hasil uji kekuatan gel kappa karaginan rumput laut *Eucheuma cottonii*

Sampel	Bobot sampel (gram)	Bobot KCl (gram)	Kekuatan Gel (g/cm ²)
Medium KOH 25 menit	1,6014	0,1634	957,3935
Medium NaOH 25 menit	1,6011	0,1604	818,6169
High Air (rendam KOH) 25 menit	1,6030	0,1643	1055,519
High Air (rendam NaOH) 25 menit	1,6009	0,1616	1097,1776
Konvensional KOH	1,6034	0,1600	1013,1075

Analisis gugus fungsi untuk karaginan yang memiliki nilai viskositas tertinggi menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan dari percobaan ini adalah benar kappa karagenan. Hal ini sesuai dengan data spektrum IR yang diperoleh dari literature (Pereira 2003). Pita yang teramati, baik pada spectrum dari literatur maupun yang diperoleh dari percobaan menunjukkan adanya gugus-gugus fungsi OH, CH alifatik, CH₂, ester sulfat, ikatan glikosida, 3,6-anhidro-D-galaktosa, D-galaktosa-4-sulfat, dan 3,6-anhidro-D galaktosa-2-sulfat.



Gambar 2 Spektrum FTIR karaginan hasil percobaan pelarut KOH medium 25 menit

Dalam spektrum 1500-500 cm⁻¹, spektroskopi FTIR menunjukkan adanya berkas absorpsi yang sangat kuat pada daerah 1210-1260 cm⁻¹ (karena ikatan S=O pada ester sulfat) dan daerah 1010-1080 cm⁻¹ (dianggap ikatan Glikosida) pada semua jenis karagenan. Perbedaan utama karagenan kappa dan iota ditunjukkan dengan lebar

spektrum 840-850 cm^{-1} (galaktosa-4-sulfat) yang dimiliki karagenan jenis kappa, sedangkan spektrum 800-805 cm^{-1} (3,6-anhidrogalaktosa-2-sulfat) yang dimiliki karagenan iota (Uy 2005). Spektrum FTIR menunjukkan bahwa karagenan baik metode konvensional maupun metode gelombang mikro memperlihatkan struktur kimia karagenan jenis kappa

4 KESIMPULAN

Proses ekstraksi kappa karagenin dari rumput laut *Eucheuma cottonii* menggunakan gelombang mikro menghasilkan rendemen yang tinggi mencapai 26,30% dengan waktu ekstraksi yang cepat dibandingkan dengan metode konvensional yang hanya mencapai 21,48%. Kualitas kappa karagenin yang dihasilkan dengan menggunakan gelombang mikro, untuk pelarut air dengan perlakuan awal perendaman basa pada daya high menit ke-25, lebih baik menurut sifat fisik dan kimia rendemen yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Istini S, Zatinika A. 1991. Optimasi proses *semi-refined carrageenan* dari rumput laut *Eucheuma cottonii*. *Prosiding Temu Karya Ilmiah Teknologi Pasca Panen Rumput Laut Jakarta*. 11-12 Maret 1991.
- [2] Iglauer S, Wu Y, Shuler P, Tang Y, Goddard III WA. 2011. Dilute iota- and kappa-Carrageenan solutions with high viscosities in high salinity brines. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 75: 304–311.
- [3] Kadajji VG, Betageri GV. 2011. Water soluble polymers for pharmaceutical applications. *Polymers* 3: 1972-2009.
- [4] Imeson AP. 2000. Carrageenan. *Dalam* Philips GO, Williams PA (eds.). *Handbook of Hydrocolloids*. Washington DC, England: CRC Press dan Woodhead Publishing Limited
- [5] Freile-Pelegri Y, Robledo D. 2006. Carrageenan of *Eucheuma isiforme* (*Solieriaceae*, *Rhodophyta*) from Yucatán, Mexico. II. Seasonal variations in carrageenan and biochemical characteristics. *Bot Mar* 49:72–78
- [6] Fadilah, Sperisa Distantina, Pratw DB, Muliapakarti R, Danarto YC, Wiratni, Fachrurrozi M. 2010. Pengaruh Metode Pengeringan Terhadap

- Kecepatan Pengeringan dan Kualitas Karaginan dari Rumput Laut *Eucheuma cottonii*. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses Yogyakarta*. 4-5 Agustus 2010.
- [7] FMC Corp. 1977. *Carrageenan*. Marine Colloid Monograph Number One. Marine Colloid Division FMC Corporation. New Jersey: Springfield
- [8] Distantina S, Dyartanti ER. 2007. Ekstraksi Karaginan dari Rumput Laut *Eucheuma cottonii* Menggunakan Pelarut NaOH. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2007 di UNDIP-Semarang*. 1 Mei 2007.
- [9] Glicksman M. 1969. Gum Technology in the food industry. *Food Science and Technology Monographs*. New ork: Academic Press.
- [10] Pereira L, Sousa A, Coelho H, Amado AM, Ribeiro-Claro PJA. 2003. Use of FTIR, FT-Raman and ¹³C-NMR spectroscopy for identification of some seaweed phycocolloids. *Biomolecular Engineering* 20: 223-228.
- [11] Uy FS, Eastal AJ, Fard MM. 2005. Seaweed Processing Using Industrial Single-mode Cavity Microwave Heating : a preliminary investigatin. *Carbohydrate Research* 340: 13