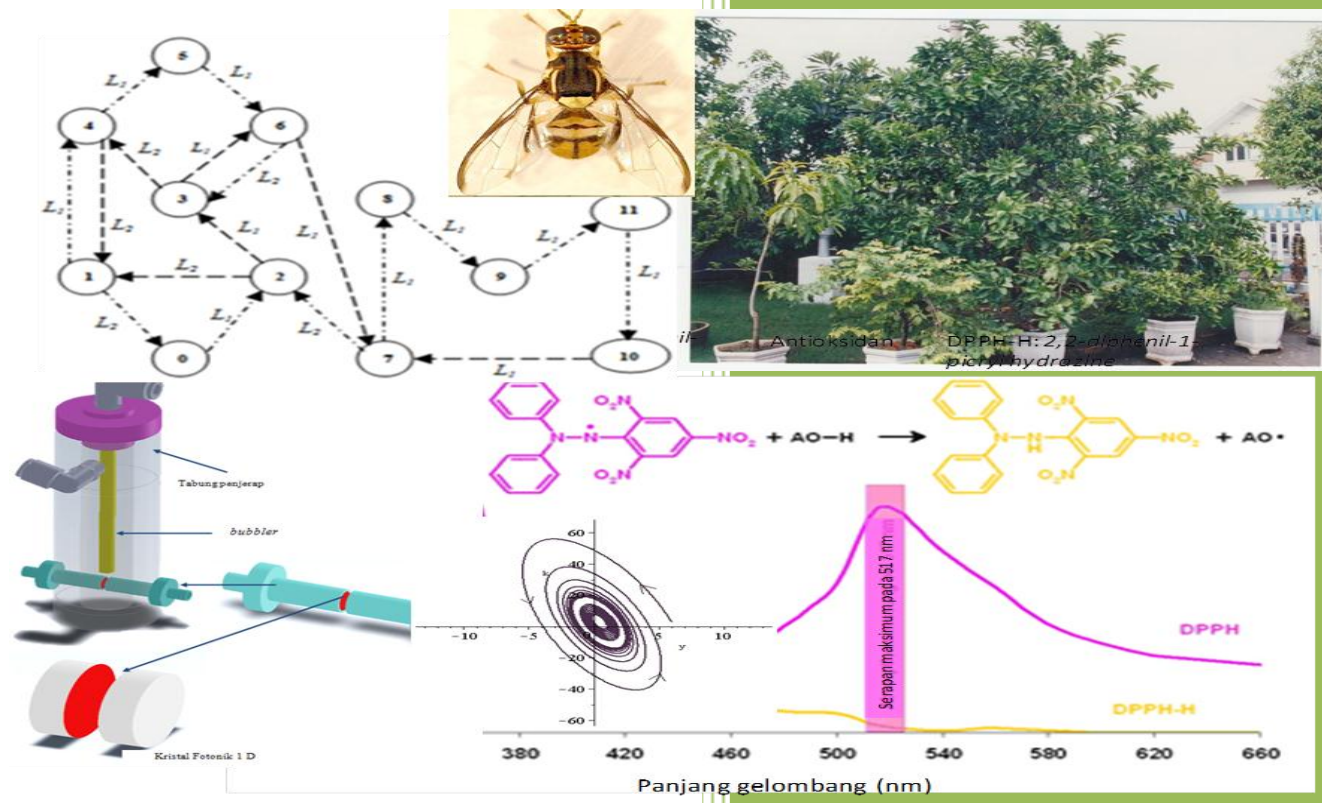
ISBN: 978-979-95093-7-6

PROSIDING

Seminar Nasional Sains IV

PERAN SAINS DALAM PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN



Diterbitkan Oleh :

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Institut Pertanian Bogor

ISBN: 978-979-95093-7-6

Seminar Nasional Sains IV

12 November 2011

PERAN SAINS DALAM PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN

Prosiding

Dewan Editor

Kiagus Dahlan
Akhiruddin Maddu
Ence Darmo Jaya Supena
Miftahudin
Endar Hasafah Nugrahani
Sri Mulijani
Sulistiyani
Ali Kusnanto

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 IV ***"Peran Sains dalam Peningkatan Produktivitas Pertanian"*** di Bogor pada tanggal 12 November 2011
Penerbit : FMIPA-IPB, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680
Telp/Fax: 0251-8625481/8625708
http://fmipa.ipb.ac.id
Terbit 1 Mei 2012
ix + 537 halaman
ISBN: **978-979-95093-7-6**

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-4, dengan tema "**PERAN SAINS DALAM PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN".**

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 koputer, fisika, dan biokimia) pada peningkatan produktivitas pertanian dalam arti luas. Seminar Nasional Sains IV ini akan diikuti oleh lebih dari 200 orang peserta dengan sekitar 65 peserta sebagai pemakalah pada sesi presentasi paralel yang berasal dari berbagai perguruan tinggi meliputi Universitas Riau, Universitas Sriwijaya, Universitas Lampung, Universitas Pancasila, Universitas Jenderal Sudirman, Institut Teknologi Bandung, Universitas Kristen Satya Wacana, Universitas Mulawarman, Universitas Negeri Makassar, Universitas Tadulako, dan Institut Pertanian Bogor Sendiri. Selain itu, peserta pemakalah juga berasal dari berberapa lembaga penelitian seperti Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI, dan pusat-pusat penelitian di bawah Kementerian Pertanian Republik 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 teknologi serta 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, Mei 2012

PANITIA

DAFTAR ISI

		Hal
	Kata Pengantar	iv
	Daftar Isi	v

Biosains

No.	Penulis	Judul	Hal
1	Ellyzarti, dan Sri Gusniati	Keanekaragaman Jenis Paku-pakuan (*Pteridophyta*) di Gunung Betung Taman Hutan Raya Wan Abdurahaman Bandar Lampung	2
2	Herman	Pemilihan Varietas Cabe *(Capsicum annum L*) Kering yang Bermutu Tinggi Hasil Kawin Silang	11
3	Yulianty , Eti Ernawiati , Sri Wahyuningsih	Pemanfaatan Daun Kembang Sungsang (*Gloriosa superba*) dalam Upaya Mengendalikan Penyakit Antraknosa (*Colletotrichum capsici* (Syd.) Butler & Bisby) pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.)	16
4	I GP Suryadarma	Efisiensi Pembuatan Biogas dan Pupuk dalam Satu Bak Penampung: Studi Kasus Kotoran Sapi di Desa Geluntung, Tabanan, Bali	27
5	Oslan Jumadi, Yusminah Hala, Abd.Muis, Andi Asmawati	Penurunan Emisi Gas *Nitrous Oxida* (N_2O) dan Laju Nitrifikasi pada Lahan Jagung (*Zea mays*) dengan Menggunakan Mimba (*Azadirachta indica*) Sebagai Bahan Penghambat Nitrifikasi	35
6	Setyadjit, D.A. Setyabudi, E. Sukasih and E.M. Lokollo	A Concept of Sustainable Tofu Industry by Linking it with Soybean Production in Indonesia	`44
7	Setyadjit, E. D. Astuty and E. Sukasih	Effect of Crushing Method, and Storage Temperature on the quality of frozen Soursop Puree	59
8	Nurul Sumiasri	Variasi Tanaman di Lahan Pertanian dalam Upaya Intensifikasi Pertanian: Studi Kasus di Dua Desa Kecamatan Jenggawah, Jember	73
9	Dody Priadi	Pengaruh Penambahan *Glomus aggregatum* pada Enkapsulasi Benih Sengon (*Paraserianthes falcataria*)	82
10	Muhammad Wiharto	Analisis Vegetasi Pohon pada Berbagai Tipe Vegetasi Tingkat Aliansi di Hutan Sub Pegunungan Gunung Salak Bogor Jawa Barat	90
11	Martha L. Lande,	Keanekaragaman Tanaman Pisang (*Musa* spp.) di Kab.	100

	Yulianty , Rita Puspitasari	Pesawaran Propensi Lampung	
12	Ali Husni dan Ifa Manzila	Peningkatan Ragam Genetik Tanaman Padi Gogo Untuk Meningkatkan Produktivitas dalam Upaya Mendukung Swasembada Berkelanjutan	107
13	Andi Mu'nisa, Halifah Pagarra, dan Andi Muflihunna	Uji Kapasitas Antioksidan Ekstrak Daun dan Flavonoid	119

Kimia

No.	Penulis	Judul	Hal
1	Budi Untari, Ahsol Hasyim, Setiawaty Yusuf	Potensi Sediaan Isolat Beta-Karyofilen dan Eugenol yang Diformulasi sebagai Atraktan Lalat Buah *Bactrocera* spp. (Diptera : Tephritidae)	129
2	Herlina, MT. Kamaluddin dan Lentary Hutasoit	Pengaruh Senyawa Murni dari Pegagan *(Centella asiatica* (L.) Urban) Terhadap Fungsi Kognitif Belajar dan Mengingat dan Efek Toksisitas pada Mencit (*Mus musculus)* Betina	138
3	Syamsudin, Ros Sumarny, Partomuan Simanjuntak	Perbandingan Efek Hipoglikemik dari Beberapa Ekstrak Biji Petai Cina (*Leucaena leucocephala* (lmk)De Wit) pada Mencit yang Diinduksi Aloksan	150
4	Fahma Riyanti, Poedji Loekitowati H. dan Rizki Muharrani	Pengaruh Pemanasan dan Penambahan Antioksidan BHT pada Minyak Biji Ketapang (*Terminalia catappa* Linn.) dan Kinetika Reaksi Oksidasi	158
5	Waras Nurcholis, Tyas Ayu Lestari, Theresia Pratiwi, Kartika	Aktivitas Antioksidan Sediaan Jamu dan Ekstrak Etanol Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.), Kunyit (*Curcuma longa* Linn.), dan Meniran (*Phyllanthus niruri* Linn.)	168
6	Dudi Tohir, Gustini Syahbirin, Akbar	Isolasi dan Identifikasi Golongan Flavonoid Daun Dandang Gendis (*Clinacanthus nutans*) Berpotensi sebagai Antioksidan	177
7	Dudi Tohir, Eka Wuyung, Rida Farida	Sitotoksisitas Fraksi Aktif Biji Mahoni (*Swietenia mahagoni*) pada Sel Kanker Payudara T47D	190
8	Tetty Kemala, Ahmad Sjahriza, Randi Abdur Rohman	Optimasi dan Evaluasi Mikrokapsul Ibuprofen Tersalut Paduan Poliasamlaktat−Lilin Lebah	202
9	Charlena, Mohammad Yani, Eka NW	Pemanfaatan Konsorsium Mikroba dari Kotoran Sapi dan Kuda untuk Proses Biodegradasi Kotoran Limbah Minyak Berat	218

10	Gustini Syahbirin, Catur Hertika, Djoko Prijono, Dadang	Potensi Minyak Atsiri Daun *Cinnamomum multiflorum* Sebagai Insektisida Nabati Terhadap Ulat Kubis *Crocidolomia Pavonana*	235

Matematika

No.	Penulis	Judul	Hal
1	Mohammad Masjkur	Perbandingan Model Nonlinear Jerapan Fosfor	248
2	Sariyanto, Hadi Sumarno dan Siswandi	Model Multistate Life Table (*MSLT*) dan Aplikasinya dalam Bidang Pendidikan: Kausu Khusus di Kabupaten Sintang	263
3	M. Endro Prasetyo Toni Bakhtiar Farida Hanum	Perencanaan Strategik Rumah Sakit Melalui Efisiensi dan Optimasi Penggunaan Kamar Operasi	275
4	Ayu Meryanti G, Farida Hanum, Endar H. Nugrahan	Optimasi Portofolio Obligasi yang Terimunisasi dengan *Goal Programming*	286
5	Hari Agung, Karomatul Aulia	Data Warehouse dan Aplikasi OLAP Akademik Kurikulum Mayor-Minor Departemen Ilmu Komputer IPB Berbasis LINUX	297
6	Mutia Indah Sari, Endar H. Nugrahani, Retno Budiarti	Pemodelan Harga Saham Menggunakan Generalisasi Model Wiener dan Model ARIMA	308
7	Ali Kusnanto, Nurrachmawati, Toni Bakhtiar	Pengaruh Waktu Penyimpanan Stok Modal pada Model Siklus Bisnis Kaldor-Kalecki	317
8	Hari Agung dan Windy Deliana Khairani	Pengembangan WebGIS Kampus IPB Darmaga	327
9	Farida Hanum, Rangga Nakasumi, Toni Bakhtiar	Penyelesaian *Rural Postman Problem* pada Graf Berarah dengan Metode Heuristik	339
10	Hari Agung, Baba Barus, Diar Shiddiq, Bambang H Trisasongko, La Ode Syamsul Iman, Auriza Akbar	Pengembangan Sistem Informasi Perkebunan (SCIBUN) menggunakan Free Open Source Software (FOSS)	350
11	Endar H. Nugrahani, Muhammad Syazali, Suritno	Penilaian Opsi *Put* Amerika dengan Metode Monte Carlo dan Metode Beda Hingga	362
11	Berlian Setiawaty	Pemodelan Nilai Tukar Rupiah terhadap Dolar Amerika Menggunakan Hidden Markov	373

12	Diana Purwandari, Endar H. Nugrahani, NK Kutha Ardhana	Analisis Regresi Laten pada Efek Plasebo Menggunakan Algoritma EM	381
13	Rina Ratianingsih dan Agus Indra Jaya	Identifikasi Model Konsumsi Gas CO_2 di Atmosfir Untuk Mendapatkan Interaksi Unsur-Unsur Utama Iklim yang Stabil	389
14	Wahfuanah, Jaharuddin, Ali Kusnanto	Penyelesaian Model Infeksi HIV pada Sel Darah Putih (T CD4+) dengan Menggunakan Metode Perturbasi Homotopi	398

Fisika

No.	Penulis	Judul	Hal
1	R Dita Rahayu Budiarti, Mamat Rahmat, Irmansyah	Karakterisasi Sensor Kristal Fotonik Satu Dimensi untuk Pengukuran Gas Nitrogen Dioksida	410
2	Irzaman, A. Arif, A. Kurniawan, M. N. Hilaluddin, J. Iskandar, D. Yosman	Penerapan Fotodioda Film Tipis $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ (BST) Sebagai Detektor Garis pada Robot *LINE FOLLOWER* Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535	421
3	Sitti Yani, Akhiruddin Maddu, Irmansyah	Efek Fotovoltaik Pada Persambungan Hibrid CdS dengan Campuran P3HT/Kitosan	433
4	Akhiruddin Maddu, Ujang Sudrajat, Mersi Kurniati	Sifat Optik Film ZnO Nanokristal yang Ditumbuhkan dengan Chemical Bath Deposition (CBD)	443
5	Rani Chahyani, Gustan Pari, Kiagus Dahlan	Pembuatan dan Analisis Kualitas Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Aktivasi Uap dan Kalium Hidroksida	454
6	I. Aisyah, S. U. Dewi, K. Dahlan	Sintesis *β-Tricalcium Phosphate* dari Cangkang Telur Ayam di Udara Terbuka dengan Variasi Waktu Sintering	467
7	Tb Gamma N.R., Mersi Kurniati, Hendradi Hadrienata	Analisis Frekuensi Gelombang Ultrasonik Terhadap Radius Gelembung Kavitasi pada Sistem Cairan Kompresibel	476
8	Tony Ibnu Sumaryada	Identifikasi Transisi Fasa Pada Sistem Mesoskopik Menggunakan *Invariant Correlational Entropy*	483
9	Arianti Tumanngor, Mamat Rahmat dan Akhiruddin Maddu	Karakterisasi Sensor Kristal Fotonik Satu Dimensi untuk Pengukuran *Total Suspended Particulate* (TSP)	490

		Poster	
1	Sitti Fatimah Syahid	Effect Of Benzyl Adenin and Thidiazuron On Shoot Multiplication Of St. John's Wort (*Hypericum perforatum) In Vitro*	502
2	Trisnowati Budi Ambarningrum	Bioinsektisida *Bacillus thuringiensis*: Pengaruhnya Terhadap Indeks Nutrisi Larva Instar V *Spodoptera litura* Fabr. (Lepidoptera: Noctuidae)	508
		Lampiran	
	Susunan Panitia		518
	Jadwal Acara		519
	Daftar Peserta		533

Biosains

KEANEKARAGAMAN JENIS PAKU-PAKUAN (Pteridophyta) DI GUNUNG BETUNG TAMAN HUTAN RAYA WAN ABDURAHMAN, BANDAR LAMPUNG

Ellyzarti dan Sri Gusniati
Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung,
Jl. Soemantri Brodjonegoro No.1 Gedung Meneng,
Bandar Lampung 35145 Telp. (0721) 71609 Fax. (0721) 704625

ABSTRAK

Tumbuhan paku bersifat kosmopolit yang mudah tumbuh dimana saja, namun demikian keanekaragaman tumbuhan paku tergantung pada faktor fisika-kimia lingkungannya. Penelitian ini telah dilakukan mulai Mei-Oktober 2009, bertujuan untuk mengetahui keanekaragaman jenis tumbuhan paku di Gunung Betung Taman Hutan Raya Wan Abdulrachman. Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan menggunakan lahan yang dibagi menjadi 3 daerah yaitu ladang, semak dan hutan primer. Kemudian pada tiap daerah dibuat plot pengamatan dengan ukuran 10 m x 10 m. Pada tiap daerah dilakukan pengukuran parameter lingkungan. Tumbuhan paku yang didapatkan diidentifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tumbuhan paku yang berhasil diinfentarisasi sebanyak 467 individu terdiri dari 30 jenis dan 14 suku. Jenis tumbuhan paku yang paling dominan adalah dari suku Asplenieae. Berdasarkan pengukuran parameter keanekaragaman, diketahui indeks keanekaragaman tumbuhan paku di Gunung Betung adalah sedang (H'=2,9817). Jenis tumbuhan paku yang paling melimpah adalah *Selaginella plana* (C=0,0405) dan jenis yang paling sedikit adalah *Theliopteris* sp (C=0,00004).

Kata kunci : Pteridophyta, *Selaginella plana*, *Theliopteris* sp.

1 PENDAHULUAN

Tumbuhan paku-pakuan bersifat kosmopolit, mudah tumbuh dimana saja, kecuali di kutub yang senantiasa diliputi es. Kira-kira 75 % tumbuhan paku-pakuan terdapat di kawasan tropika dengan ukuran yang sangat beragam [1]. Taman Hutan Raya Wan Abdurahman (Tahura War) adalah hutan konservasi di Gunung Betung Provinsi Lampung. Secara ekologi Tahura War mempunyai potensi terdapatnya keragaman tumbuhan paku-pakuan.

Walaupun tumbuhan paku-pakuan dapat tumbuh dimana-mana, namun keanekaragamannya sangat tergantung pada faktor fisika, kimia dan biologi lingkungannya. Perubahan iklim yang dirasakan sekarang ini adalah akibat kegiatan manusia. Dimulai sejak revolusi industri, teryata menyebabkan perubahan iklim secara perlahan yang pada akhirnya

terjadilah pemanasan global. Pemanasan global yang merupakan isu dunia sangat berpengaruh negatif terhadap lingkungan. Para biologiwan harus mulai waspada akan dampak perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati [2]. Selain itu belum ada informasi tentang jenis paku-pakuan yang tumbuh di Tahura War, yang merupakan data awal dari aset yang dimiliki Tahura War.

Dari berbagai jenis tumbuhan paku-pakuan, ada yang memiliki nilai ekonomi. Sudah sejak lama diketahui ada jenis yang bermanfaat sebagai obat-obatan [3] sebagai tanaman hias, makanan dan lalapan [4].

Berdasarkan asumsi dari uraian di atas maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui potensi kekayaan dan keanekaragaman jenis paku-pakuan yang ada di Tahura War.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pengambilan dan pengumpulan spesimen paku-pakuan dilakukan di Tahura War, dari 3 (tiga) transek areal kajian yaitu areal kajian A (semak) dua plot, areal kajian B (ladang) tiga plot, areal kajian C (hutan primer) lima plot. Masing-masing plot berukuran 10m x 10m. Pembuatan herbarium, pengamatan morfologi luar dilakukan di Labolatorium Botani FMIPA Universitas Lampung. Identifikasi dilakukan di Labolatorium Botani dan Herbarium Bogoriense, Puslitbang LIPI Bogor. Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai Oktober 2009

2.2 Bahan dan Alat

Bahan utaman yang digunakan dalam penelitian ini berupa spesimen yang dikumpulkan di lapangan.

Peralatan dan bahan yang dibawa ke lapangan adalah: teropong, kamera, buku lapangan, pensil, label gantung, kantong plastik berbagai ukuran, penggaris, meteran parang, gunting stek, kompas, peta lokasi, alat pengepres, tali pengikat, koran, alkohol 70% (spritus).

2.3 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian didasarkan pada [5]:

1. Survey untuk penentuan lokasi dimana tempat terdapat tumbuhan paku-pakuan di Tahura War, kemudian membuat transek.
2. Eksplorasi dan inventarisasi, mengadakan penjelajahan langsung ke lokasi untuk mengumpulkan spesimen-spesimen paku-pakuan. Semua jenis paku-pakuan yang ditemui, dikoleksi bagian-bagiannya yaitu : akar, batang dan daun [6], sedangkan data yang lain dicatat di lapangan yaitu bentuk tumbuhan (habitus), lingkaran batang dan daun.

2.4 Cara Kerja

Adapun cara kerjanya yaitu dengan identifikasi :

1. Semua ciri morfologi (akar, batang dan daun, bentuk batang, lingkar batang, ujung daun dan sorus) dianalisis.
2. Kemudian mempersamakan / membandingkan ciri-ciri paku-pakuan tersebut dengan ciri-ciri paku-pakuan yang sudah dikenal identitasnya dengan literatur, spesimen herbarium, bantuan orang ahli.
3. Pengukuran parameter lingkungan, yaitu kelembaban dengan menggunakan hygrometer, suhu dengan thermometer, intensitas cahaya dengan luxmeter, pH dengan pHmeter.

2.5 Analisis Data

Data dianalisis dengan menghitung indeks karakter komunitas yang meliputi indeks Diversitas Shannon - Wiener (H') dan indeks Dominansi (C).

a Indeks Diversitas Shannon - Wiener (H')

$$H' = -\sum Pi \ln Pi$$

Keterangan : H' = Indeks keanekaragaman paku

Pi = Peluang kepentingan setiap spesies (ni/N)

ni = Jumlah individu untuk spesies paku ke-i

N = Jumlah total individu semua spesies paku

Tabel 1 Kriteria Nilai Indeks Diversitas Shannon (H') (Odum, 1994)

(H')	Keterangan
<1	Keanekaragaman rendah, artinya jumlah individu tidak seragam, ada salah satu spesies yang dominan
1-3	Keanekaragaman sedang, artinya jumlah individu tidak seragam, ada beberapa spesies yang dominan
>3	Keanekaragaman tinggi, artinya jumlah individu tidak seragam, tidak ada spesies yang dominan.

b Indeks Dominansi (C)

$$C = \sum (ni/N)^2$$

Keterangan : C = Indeks Dominansi

ni = Tumbuhan paku spesies ke-i

N = Total individu dari semua spesies tumbuhan paku

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Indeks Keanekaragaman dan Indeks Dominansi Pada Daerah Ladang

Keanekaragaman tumbuhan paku yang terdapat pada daerah ladang disajikan pada tabel 2. Pada daerah ladang didapatkan 10 jenis tumbuhan paku sebanyak 67 individu, dimana dari analisis data didapatkan indeks keanekaragaman sebesar 1,7552.

Tabel 2 Indeks Keanekaragaman dan Indeks Dominansi Tumbuhan Paku di Daerah Ladang.

No	Nama Spesies	Jumlah	pi ln pi	$(ni/N)^2$
1	*Asplenium nidus*	3	-0,1388	0,0019
2	*Asplenium perakense*	3	-0,1388	0,0019
3	*Blechnum patersonii*	3	-0,1388	0,0019
4	*Davallia trichomanoides*	5	-0,1936	0,0057
5	*Drynaria quercifolia*	3	-0,1388	0,0019
6	*Drynaria rigidula*	4	-0,1683	0,0036
7	*Elaphoglossum callifolium*	3	-0,1388	0,0019
8	*Pronephrium sp.*	6	-0,2162	0,0080
9	*Pteris longipinnula*	3	-0,1388	0,0019
10	*Theliopteris palustris*	34	-0,3443	0,2576
	Jumlah	**67**	**-1,7552**	**0,2863**

H' = - Σ pi ln pi

= 1,7552

3.2 Indeks Keanekaragaman dan Indeks Dominansi Pada Daerah Semak

Indeks keanekaragaman dan indeks dominansi tumbuhan paku di daerah semak dapat dilihat pada tabel 3. Pada daerah semak didapatkan 7 jenis tumbuhan paku sebanyak 41 individu, dengan indeks keanekaragaman sebesar 1,8114.

Tabel 3 Indeks Keanekaragaman dan Indeks Dominansi Tumbuhan Paku di Daerah Semak.

No	Nama Spesies	Jumlah	pi ln pi	$(ni/N)^2$
1	*Asplenium nidus*	5	-0,2565	0,0146
2	*Asplenium perakense*	6	-0,2812	0,0214
3	*Diplazium esculentum*	2	-0,1474	0,0024
4	*Drynaria quercifolia*	8	-0,3188	0,0381
5	*Drynaria rigidula*	3	-0,1914	0,0054
6	*Elaphoglossum callifolium*	5	-0,2565	0,0146
7	*Theliopteris palustris*	12	-0,3596	0,0857
	Jumlah	**41**	**-1,8114**	**0,1822**

$H' = - \Sigma \text{ pi ln pi}$

$= 1,8114$

3.3 Indeks Keanekaragaman dan Indeks Dominansi Pada Daerah Hutan Primer

Daerah hutan primer yang memiliki ketinggian lebih dari 700 m dpl. Daerah ini didominasi oleh pohonan berkayu yang memiliki ukuran besar dan tinggi. Daerah ini juga mengandung serasah dan humus yang cukup tinggi pada permukaan tanahnya. Adapun analisis data yang didapatkan dari hutan primer disajikan pada Tabel 4.

Pada daerah hutan primer ditemukan 30 jenis tumbuhan paku sebanyak 359 individu dengan indeks keanekaragaman sebesar 2,8658, dimana *Selaginella plana* paling banyak ditemukan yaitu berjumlah 94 indivudu dengan indeks dominansi 0,0685. Adapun jenis yang paling sedikit ditemukan adalah *Diplazium esculentum* dan *Theliopteris sp*., dimana dari masing-masing jenis hanya didapatkan satu individu dengan indeks dominansi 0,000008.

Tabel 4 Indeks Keanekaragaman dan Indeks Dominansi Tumbuhan Paku di Daerah Hutan Primer.

No	Nama Spesies	Jumlah	pi ln pi	$(ni/N)^2$
1	*Acrostichum speciosum*	4	-0,0499	0,00010
2	*Asplenium nidus*	25	-0,1855	0,00480
3	*Asplenium perakense*	3	-0,0417	0,00007
4	*Asplenium tenerum*	14	-0,1263	0,00150
5	*Athryrium asperum*	12	-0,1135	0,00110
6	*Blechnum articulatum*	10	-0,0996	0,00070
7	*Blechnum patersonii*	16	-0,1385	0,00190
8	*Blechnum vulcanicun*	20	-0,1608	0,00310
9	*Christella arida*	4	-0,0499	0,00010
10	*Davalia trichomanoides*	2	-0,0295	0,00003
11	*Diplazium dilatatum*	11	-0,1069	0,00090
12	*Diplazium donianum*	8	-0,0845	0,00040
13	*Diplazium esculentum*	1	-0,0165	0,000008
14	*Doryopteris ludens*	24	-0,1808	0,00450
15	*Drynaria quertifolia*	14	-0,1263	0,00150
16	*Drynaria rigidula*	2	-0,0295	0,00003
17	*Elaphoglossum callifolium*	2	-0,0295	0,00003
18	*Lygodium lungifolium*	7	-0,0768	0,00040
19	*Microsorium heterocarpum*	8	-0,0845	0,00040
20	*Nepholepis biserrata*	8	-0,0845	0,00040
21	*Neprolephis acutifolia*	6	-0,0683	0,00030
22	*Pronephrium sp.*	6	-0,0683	0,00030
23	*Pteris longipinnula*	21	-0,1661	0,00340
24	*Selaginella plana*	94	-0,3509	0,06850
25	*Taenitis blechnoides*	11	-0,1069	0,00090
26	*Tectaria deccurens*	8	-0,0845	0,00040
27	*Tectaria dissecta*	10	-0,0996	0,00080
28	*Theliopteris palustris*	4	-0,0499	0,00010
29	*Theliopteris sp.*	1	-0,0615	0,000008
30	*Theliopteris unidentata*	3	-0,0398	0,00007
	Jumlah	**359**	**-2,8658**	**0,0967**

H' = - Σ pi ln pi

= 2,8658

3.4 Indeks Keanekaragaman dan Indeks Dominansi Pada Daerah Gunung Betung

Dari data yang diperoleh dari ketiga daerah pengamatan diketahui bahwa terdapat perbedaan indeks keanekaragaman Shannon – Weinner (H') dan terdapat perbedaan jumlah individu serta jenis tumbuhan paku yang terdapat pada ketiga daerah tersebut. Adapun persebaran data yang diperoleh dari ketiga daerah di Gunung Betung disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Indeks Keanekaragaman dan Indeks Dominansi Tumbuhan Paku di Ketiga Daerah Gunung Betung.

No	Nama Spesies	Jumlah	pi ln pi	$(n/N)^2$
1	*Acrostichum speciosum*	4	-0,0409	0,00007
2	*Asplenium nidus*	33	-0,1873	0,00490
3	*Asplenium perakense*	12	-0,0941	0,00060
4	*Asplenium tenerum*	14	-0,1049	0,00090
5	*Athryrium asperum*	12	-0,0941	0,00060
6	*Blechnum articulatum*	10	-0,0823	0,00040
7	*Blechnum patersonii*	19	-0,1303	0,00170
8	*Blechnum vulcanicun*	20	-0,1348	0,00180
9	*Christella arida*	4	-0,0409	0,00007
10	*Davalia trichomanoides*	7	-0,0626	0,00020
11	*Diplazium dilatatum*	11	-0,0885	0,00050
12	*Diplazium donianum*	8	-0,0695	0,00030
13	*Diplazium esculentum*	3	-0,0323	0,00004
14	*Doryopteris ludens*	24	-0,1526	0,00260
15	*Drynaria quertifolia*	25	-0,1566	0,00290
16	*Drynaria rigidula*	9	-0,0762	0,00030
17	*Elaphoglossum callifolium*	10	-0,0823	0,00040
18	*Lygodium lungifolium*	7	-0,0626	0,00020
19	*Microsorium heterocarpum*	8	-0,0695	0,00030
20	*Nepholepis biserrata*	8	-0,0695	0,00030
21	*Neprolephis acutifolia*	6	-0,0557	0,00010
22	*Pronephrium sp.*	12	-0,0941	0,00060
23	*Pteris longipinnula*	24	-0,1526	0,00260
24	*Selaginella plana*	94	-0,3227	0,04050
25	*Taenitis blechnoides*	11	-0,0885	0,00050
26	*Tectaria deccurens*	8	-0,0695	0,00030
27	*Tectaria dissecta*	10	-0,0823	0,00040
28	*Theliopteris palustris*	50	-0,2393	0,01150
29	*Theliopteris sp.*	1	-0,01291	0,000004
30	*Theliopteris unidentata*	3	-0,0323	0,00004
	Jumlah	**467**	**-2,9817**	**0,07560**

H' = - Σ pi ln pi

= 2,9817

Dilihat dari berbagai faktor abiotik dan biotik yang mempengaruhi kondisi lingkungan ladang, semak dan hutan primer didapatkan nilai indeks keanekaragaman tumbuhan paku yang berbeda, namun untuk keseluruhan keanekaragaman yang terdapat di Gunung Betung memiliki indeks keanekaragaman dalam kriteria sedang, yaitu keanekaragaman rendah dengan beberapa jenis yang dominan dengan indeks

keanekaragaman sebesar 2,9817. Indeks keanekaragaman yang sedang dimungkinkan karena sesuainya kondisi lingkungan untuk pertumbuhan tumbuhan paku, dimana diketahui bahwa tumbuhan paku menyukai habitat dengan kondisi yang lembab dan ternaung.

Dari pengukuran parameter lingkungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kondisi lingkungan di Gunung Betung memiliki daya dukung yang cukup baik untuk pertumbuhan tumbuhan paku, yaitu kondisi lingkungan dengan kelembaban yang cukup tinggi, suhu yang rendah dan intensitas cahaya dan pH yang masih dalam kisaran normal untuk pertumbuhan tumbuhan paku.

Dari hasil perhitungan yang telah disajikan dalam tabel 5, diketahui bahwa jumlah seluruh tumbuhan paku yang diperoleh dari ketiga daerah berjumlah 467 individu, dimana *Selaginella plana* paling banyak ditemukan yaitu berjumlah 94 individu dengan indeks dominansi 0,0405. Adapun jenis yang paling sedikit ditemukan adalah *Theliopteris sp*., dimana hanya didapatkan satu individu dengan indeks dominansi 0,000004. Sedangkan untuk total seluruh tumbuhan paku pada daerah Gunung Betung memiliki indeks dominansi sebesar 0,0756.

4 KESIMPULAN

Tingkat keanekaragaman jenis tumbuhan paku di Gunung Betung dalam kategori sedang dengan indeks keanekaragaman adalah 2,9817. Tumbuhan paku yang paling dominan ditemukan adalah *Selaginella plana* dengan indeks dominansi 0,0405, sedangkan jenis yang paling sedikit ditemukan adalah *Theliopteris* sp., dengan indeks dominansi 0,000004.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Dirjosoemarto, Soendjojo. 1996. *Ekologi*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta.

[2] Sastrapradja, S.D dan K. Kartawinata, 2008. *Bumi Berubah Alam Hayati Gerah.* Kongres PPTI. Bogor.

[3] Ekowati, M dan Rismunandar. 1989. *Tanaman Hias Paku-Pakuan*. Penebar Swadaya. Jakarta.

[4] Handayani, T. 1996. *Suksesi Sekunder dan Produktivitas Vegetasi Padang Rerumputan di Cagar Alam Penanjung Pangandaran*. Program Pasca Sarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

[5] Hartoyo, 1999. *Penentuan Pola Distribusi dan Asosoiasi Paku Rene Biru Pada Ketinggian Tempat Berbeda di Kawasan Hutan Lindung Register 22 Way Waya Kalirejo Tanggamus*. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

[6] Heyne, K.1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia III (terjemahan). Badan Penelitan dan Pengembangan Kehutanan*, Departemen Kehutanan, Jakarta.

PEMILIHAN VARIETAS CABE (*Capsicum annuum* L) KERING YANG BERMUTU TINGGI HASIL KAWIN SILANG

Herman
Jurusan Biologi FMIPA Universitas Riau
E-mail: hermansyahdan@ymail.com

ABSTRAK

Penelitian ini di lakukan untuk memilih varietas cabe kering yang bermutu tinggi dari generasi F_1 hasil kawin silang antara Cilibangi-3 (buah besar dan segar) dan Cilibangi-4 (buah kering kecil). Penilaian telah dilakukan pada enam generasi cabe yaitu P_1, P_2, B_1, B_2, F_1 dan F_2. Biji dari semua generasi tersebut dikumpulkan dan ditanam dengan enam kali pengulangan. Setiap replikasi ditanam dengan jarak satu bulan. Parameter yang diamati adalah jumlah buah per tanaman, berat buah (g) per tanaman, jumlah buah masak (g) per tanaman dan berat buah kering (g) per tanaman. Data dianalisis mengunakan ANOVA dan diuji lebih lanjut dengan DMRT (*Duncan Multy Range Test*) dan simpangan baku. Hasil analisis menunjukan bahwa generasi F_1 menghasilkan jumlah buah kering dan jumlah buah masak kering per tanaman yang tertinggi.

Kata Kunci: Cilibangi-3, Cilibangi-4, Kawin silang.

1 PENDAHULUAN

Cabe (*Capsicum annuum*) termasuk dalam kelompok sayur-sayuran yang diperlukan dan disukai oleh seluruh masyarakat sebagai perasa masakan dan perangsang tubuh, sehingga jelas cabe lebih disukai sebagai rempah atau lalapan (sayur mentah). Tidak mengherankan bila jumlah cabe di pasaran cukup tinggi, harga dan permintaannya seperti dari pasar borong, warung, restoran kecil, pengusaha asrama, hotel berbintang dan pasar swalayan [1].

Program pemuliaan tanaman cabe baru dimulai di FMIPA Biologi Universitas Riau diadopsi dari Jenis cabe Malaysia seperti MARDI Cili, MC4, MC5, MC6, MC10, MC11 MC12 dan juga Cilibangi-1, Cilibangi-2, Cilibangi-3, Cilibangi-4 (Kering di pokok), Cilibangi-5 dan Cilibangi-6 (kering di pokok), semua cabe ini dikoleksi di Malaysia. Oleh sebab itu penelitian untuk membentuk dua genotif cabe kering yang sesuai dengan iklim dan lingkungan daerah Riau serta memberi hasil yang tinggi dengan biaya rendah seperti pencegahan hama dan penyakit, pupuk berimbang, panen, pasca panen dan buah berukuran besar, dan kedua adalah buah segar harum yang boleh dijadikan cabe kering tanpa mengunakan alat pengering diterima oleh masyarakat umum.

Di provinsi Riau tanaman cabe mempunyai prospek yang sangat cerah sebagai komoditas hortikultura [2]. Provinsi Riau mempunyai luas areal tanaman cabe pada tahun 2006 2.837 ha, dengan produksi 11.372 ton dan produktivitas sebesar 4,002 ton/ha. Pada tahun 2008 luas areal tanaman cabe meningkat menjadi 3.335 ha dengan produksi 12.158 ton, dan produktivitas sebesar 3.4 ton/ha. Pada tahun 2009 luas areal penanaman cabe menurun menjadi 2.258 ha dengan produksi 6.220 ton dan produktivitas sebesar 2,75 ton/ha terjadi penurunan produktivitas cabe setiap tahunnya sebesar 0.89 ton/ha [2].

2 BAHAN DAN METODE

Penanaman cabe-3 (P_1) 30 pokok dan cabe-4 (P_2) 30 pokok jadi berjumlah sebanyak 157 pokok ditanam bersama dengan pokok induk untuk dijadikan perbandingan dengan anak turunan, projeninya ada atau tidaknya mewarisi sifat – sifat induknya atau habitat anak – anak projeni. Biji benih generasi F_1 90 pokok, hasil kawin silang dan kawin balik diantaranya F_1 kedua – dua induk benih generasi B_1 120 pokok, benih B_2 120 pokok dan generasi F_2 180 pokok, jadi ke enam generasi tersebut ditanam bersamaan secara berulang – ulang dan dijarakkan satu bulan yang menghabiskan waktu selama sembilan bulan.

Ciri – ciri cilibangi-3 dan cilibangi-4 seperti pada tabel 3.1 yang dipilih sebagai pohon induk kawin silang dan kawin balik dan termasuk anak – anak benih (progeni) dihasilkan dari perbandingan penelitian.

Tabel 1 Perbedaan induk jantan cilibangi-3 dan betina cilibangi-4

Ciri - ciri	Jantan cilibangi-3	Betina cilibangi-4
Hasil	Tinggi	Rendah
Genetik	Stabil	Kurang stabil
Bentuk pokok	Perdu	Kecil dan rendah
Cita rasa	Paling pedas	Pedas
Berat basah	tinggi	rendah
Berat kering	rendah	tinggi
Ferikap	tebal	tipis
Kandungan air	tinggi	rendah
Bilangan biji	banyak	sedikit
Misokap	tebal	tipis
Tinggi tanaman	85 cm	65cm

Penyemaian biji benih, penjagaan anak pokok selama satu bulan, penyediaan polibeg, penanaman anak pokok, pemupukan, perawatan terhadap gulma, hama dan penyakit.

3 HASIL

Hasil penelitian ini telah dikaji pada 6 kali pengulangan diantara progeni-progeni P_1(induk jantan), B_1, F_1, F_2, B_2 dan P_2 (induk betina) selama 12 bulan. Pencarian pembentukan cabe kering di pokok telah dihasilkan oleh peneliti-peneliti dahulu, sementara kajian selanjutnya menentukan kestabilan genetik yang sesuai ditanam di tanah PMK (Pot Solit Merah-kuning) dengan cara penggabungan kembali gen-gen dari berbagai induk melalui penghibridan.

Dari uji ANOVA, bilangan buah mempunyai perbedaan yang sangat berarti. Diantara ulangan dengan generasi (Kb < 0.01) Tabel 2.

Tabel 2 ANOVA untuk semua ciri– ciri yang dinilai

Variasi	dk	Min Kuadrat				
		BP	BBP	BBM	BMP	BK
Ulangan	5	7066.7**	155877.6**	879.4**	110088.9**	32473.5**
Generasi	5	10862.9**	158620.0**	5803.7**	67683.4**	19169.0**
Ralat	496	319.9	8405.0	158.32	7220.9	2674.7
Jumlah	506	-	-	-	-	-

Catatan : ** Kb<0.01

Tabel 3 Ujian DUNCAN untuk bilangan buah per pokok mengikut ulangan

Ulangan	Bilangan buah/pokok
3	83.3a
1	69.8b
4	64.6b
5	64.1b
2	64.0b
6	55.9c

Catatan min dengan abjad yang sama mempunyai perbedaan tetapi tidak berarti.

Tabel 4 Ujian DUNCAN untuk bilangan buah per pokok mengikut generasi

Generasi	Bilangan buah/pokok
F_1	78.9a
B_1	75.2a
B_2	72.1ab
P_2	67.1b
P_1	58.7c
F_2	53.1c

Catatan min dengan abjad yang sama mempunyai perbedaan tetapi tidak berarti.

Penghibridan (F_1) adalah jalan yang paling baik untuk ciri-ciri buah per pokok dibandingkan dengan kawin silang diantara kedua-dua induk basah (cilibangi-3) dan kering (cilibangi-4) untuk menghasilkan hibrida. Keberhasilan kawin silang ini tergantung pada penelitinya dan dianggarkan 15-25 % yang berhasil, tergantung keadaan cuaca, hujan atau panas [3]. Penelitian ini telah berhasil dilaksanakan, dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Pokok induk P_1

Pokok induk P_2

Pokok progeni B_1

Pokok progeni B_2

Pokok hibrid F_1

Pokok progeni F_2

Gambar 1 P_1 X P_2 (induk= jantan dan betina), Hibrida F_1, Progeni F_2, dan Progeni B_1 dan B_2

4 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan terhadap perkawinan silang varietas cabe dapat disimpulkan bahwa cilibangi-4 berpotensi untuk menghasilkan cabe kering di pokok yang paling baik, hal ini dikarenakan adanya kumpulan gen berdasarkan ciri-ciri fenotipenya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak yang telah membantu penulisan makalah dan kepada PPTS yang telah memberikan bantuan dana penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Prananta, F. 2007. Agribisnis Cabe Hibrida. Penebar Swadaya. Jakatra.

[2] Badan Pusat Statistik propinsi Riau, 2009. Riau dalam angka badan pusat statistik Riau 2008. Pekanbaru

[3] Janussi et. al, 1976. A & F.G.H. Lupethon Heterosis in Plant Breeding. New York, American Elsivier Publishing Co. Hal 47-48

PEMANFAATAN DAUN KEMBANG SUNGSANG (*Gloriosa superba* L.) DALAM UPAYA MENGENDALIKAN PENYAKIT ANTRAKNOSA (*Colletotricum capsici* (Syd.) Butler & Bisby) PADA TANAMAN CABAI KERITING (*Capsicum annuum* L.)

Yulianty, Eti Ernawiati, Sri Wahyuningsih
Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung
Jln, Soemantri Brodjonegoro No. 1 Gedong Meneng, Bandar Lampung 35145.
Telp. (0721) 71609 Fax. (0721) 704625

ABSTRAK

Cabai merupakan salah satu jenis sayuran penting yang dibudidayakan secara komersil di daerah tropis, namun produksinya belum optimal karena tanaman cabai tidak terlepas dari serangan penyakit yang disebabkan oleh jamur. Akhir-akhir ini telah banyak dikembangkan penggunaan ekstrak botani yang cukup efektif dalam mengendalikan penyakit ini. Salah satu tanaman yang dapat digunakan dalam upaya mengendalikan penyakit ini adalah daun kembang sungsang (*Gloriosa superba* L.), karena seluruh bagian dari tanaman ini mengandung alkaloid yang sangat toksik yaitu kolkisin. Antraknosa adalah penyakit yang banyak menyerang cabai, penyebab penyakit ini adalah jamur *Colletotrichum capsici*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan konsentrasi serta lama perendaman ekstrak daun kembang sungsang yang optimum untuk mengendalikan penyakit antraknosa. Analisis Statistika dilakukan terhadap Diameter Bercak, Intensitas Serangan dan Jumlah Konidia. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan pola faktroial yang teridiri dari dua faktor yaitu faktor A (konsentrasi) terdiri atas 5 taraf konsentrasi (0, 20%, 40%, 60%, dan 80%) dan faktor B (lama perendaman) terdiri atas 3 taraf (24 jam, 48 jam, 72 jam). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi dan lama perendaman memberikan pengaruh yang berbeda terhadap diameter bercak, intensitas serangan, dan kepadatan konidia. Konsentrasi optimum yang dapat digunakan untuk mengendalikan penyakit antraknosa adalah 80% dan lama perendaman 24 jam.

Kata Kunci : *Capsicum annuum*, *Colletotrichum capsici*, Kembang sungsang, kolkisin

1 PENDAHULUAN

Tanaman cabai yang dalam bahasa ilmiahnya disebut *Capsicum annuum* bukan merupakan tanaman asli Indonesi, melainkan berasal dari Benua Amerika, yaitu Amerika Tengah dan Selatan serta Meksiko. Tanaman cabai banyak dibudidayakan di Indonesia khususnya di tanah-tanah sawah dan tanah-tanah tegalan yang mendapatkan sinar matahari yang cukup. Pada umumnya cabai ditanam oleh petani sebagai tanaman musiman yang berorientasi bisnis.

Antraknosa adalah penyakit terpenting yang menyerang cabai di Indonesia. Penyakit ini menyerang tanaman pada semua tahap pertumbuhan atau pada saat panen. Gejala yang ditimbulkan berupa bercak atau noda lekukan berwarna coklat dengan diameter bercak dapat mencapai 30 mm. Penyakit ini disebabkan oleh *Colletotrichum* spp. Empat jenis *Colletotrichum* yang menyebabkan penyakit ini adalah *C. gloeosporioides*, *C.* c*apsici*, *C. coccodes* dan *C. acutatum* [1].

Penggunaan benih yang bermutu baik menjadi kunci pertama keberhasilan penanaman cabai. Untuk mendapatkan tanaman yang baik dan dapat memberikan produksi yang cukup tinggi, benih harus berasal dari buah yang baik dan sehat sehingga dapat memberikan produksi yang cukup tinggi. Pengendalian penyakit antraknosa banyak menggunakan fungisida sintetik. Namun penggunaan bahan sintetik ini sangat mengkhawatirkan, bila penggunaannya tidak sesuai dengan dosis yang ditentukan. Untuk itu perlu diupayakan cara-cara pengendalian penyakit antraknosa yang aman dan ramah terhadap lingkungan, salah satunya dengan penggunaan ektrak tumbuhan. Penggunaan minyak cengkeh dapat menghambat perkembangan jamur *Colletotrichum capsici*, hal ini dipengaruhi oleh adanya kandungan alkaloid yang terdapat pada tanaman tersebut [2]. Tanaman kembang sungsang (*Gloriosa superba* L.) juga mempunyai kandungan senyawa alkaloid yang bersifat toksik yaitu kolkisin, dan alkaloid toksik lain yaitu gloriosin [3]. Kandungan kolkisin di hampir seluruh bagian tanaman ini mempunyai potensi yang besar untuk digunakan sebagai biofungisida, karena senyawa ini dapat digunakan untuk menginduksi terjadinya tanaman poliploid [4]. Kandungan kolkisin pada bagian daun sekitar 0,44%. Tanaman poliploid mempunyai jumlah kromosom lebih banyak dibanding tanaman diploid. Tanaman kelihatan lebih kekar, baik sel-selnya maupun inti selnya. Pertambahan jumlah kromosom juga dapat meningkatkan kandungan protein dan vitamin, tekanan osmotik berkurang, pembelahan sel terhambat dan masa vegetatif lebih panjang [5].

Penelitian yang pernah dilakukan adalah dengan menggunakan ekstrak umbi kembang sungsang dengan konsentrasi 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dengan lama perendaman 48 jam, namun perlakuan ini belum mampu untuk menghambat perkembangan jamur *C. capsici* dengan maksimal [6].

Dari uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian tentang penggunaan daun kembang sungsang (*Gloriosa superba* L.) untuk mengendalikan penyakit antraknosa yang

disebabkan oleh jamur *C. capsici*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ekstrak daun kembang sungsang dan menentukan konsentrasi dan lama perendaman yang efektif untuk mengendalikan penyakit antraknosa pada tanaman cabai.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Botani Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung pada bulan April sampai bulan Oktober 2010.

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium foil, autoklaf, beaker glass, cawan petri, corong, freezer, gelas ukur, gelas objek, gelas penutup, hot plate, haemositometer, Hammer Mill, inkubator, jarum ose, kapas, kertas saring, labu erlenmeyer, lampu spiritus, mistar, mikroskop, oven, jarum suntik, timbangan elektrik, tissue, dan vorteks mixer.

Bahan yang digunakan adalah 250 g daun kembang sungsang, benih cabai merah, alkohol 70%, kloroform, polybag, tanah, pupuk kandang. Bahan untuk pembuatan media PDA adalah kentang, aquades, agar-agar, dekstrosa.

2.3 Rancangan Percobaan

Penelitian ini disusun dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan pola Faktorial. Faktor A adalah konsentrasi yang terdiri atas 5 taraf : 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80%. Faktor B adalah lama perendaman yang terdiri atas 3 taraf : 24 jam, 48 jam, dan 72 jam.

2.4 Pelaksanaan Penelitian

a. Pembuatan Ekstrak daun kembang sungsang

Pembuatan ekstrak daun kembang sungsang mengacu pada metode [7]. Sebanyak 250 gr daun kembang sungsang dibersihkan kemudian diiris tipis, dikeringkan di udara terbuka dan tidak terkena cahaya matahari secara langsung. Setelah kering, daun digiling dengan menggunakan mesin hammer mill. Daun yang telah menjadi serbuk kemudian

dimaserasi dalam aquades selama 2 x 24 jam, setelah itu disaring. Hasil saringan (larutan) tersebut selanjutnya diekstraksi dengan kloroform dalam corong pemisah, banyaknya kloroform yang digunakan adalah 1:1 dengan hasil maserasi. Caranya ialah hasil saringan tersebut dimasukkan ke dalam corong pemisah kemudian ditambahkan kloroform, dikocok sehingga larutan bercampur atau homogen, sekali-kali kran dibuka untuk mengeluarkan gas yang ada di dalam. Selanjutnya larutan tersebut didiamkan sehingga terbentuk dua fase larutan. Larutan pertama, yang berada di bagian bawah berisi senyawa yang larut dalam kloroform, dan larutan kedua yang berada di bagian atas berisi senyawa yang larut dalam air. Larutan bagian atas yang diambil sebagai larutan stok.

b. Pembuatan Larutan Untuk Perlakuan

Konsentrasi 20%, 40%, 60% dan 80% diperoleh melalui pengenceran yaitu mencampur larutan stok dengan aquades sampai volume 100 ml. Banyaknya volume aquades yang dicampurkan (ml) adalah 100 ml dikurangi banyaknya larutan stok yang diambil untuk diencerkan.

c. Perendaman Benih Dalam Ekstrak

Benih cabai merah sebanyak 20 buah pada masing-masing cawan petri direndam ektrak umbi kembang sungsang pada konsentrasi yang berbeda-beda yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80% , masing-masing selama 24 jam, 48 jam, dan 72 jam. Kemudian ditumbuhkan dalam cawan petri yang telah dialasi kertas saring dan dibasahi aquades sampai tumbuh akar sepanjang 3-5 mm. Untuk menjaga kelembaban, setiap hari ditambahkan aquades ke dalam cawan petri.

d. Penyemaian Benih

Bibit cabai ditanaman dalam plastik polibag yang telah berisi media tanah, kemudian dilubangi dengan kedalaman 2 cm. Selanjutnya bibit cabai yang telah tumbuh akar dimasukkan ke dalam lubang tanam, kemudian ditutup dengan media tanah. Untuk menjaga kelembaban, semaian disiram dengan air secukupnya pada pagi dan sore hari**.**

e. Penanaman

Sebanyak 60 pot plastik masing-masing berdiameter 25 cm, didisi denganmedia tanam (campuran tanah: pupuk kandang = 1:1). Kemudian dibuat lubang tanam dengan kedalaman 5-8 cm. Bibit yang telah tumbuh dengan 4 daun sejati siap dipindahkan ke dalam media tanam. Bibit diambil beserta media pembibitan yang melekat pada akar, agar bibit tidak stress pada saat pemindahan. Selanjutnya bibit ditanam ke dalam pot plastik, masing-masing berisi satu bibit. Untuk menjaga kelembaban, tanaman disiram dengan air secukupnya pada pagi dan sore hari.

f. Pembuatan Media Potato Dextrose Agar (PDA)

Pembuatan media PDA mengacu pada metode yang digunakan [6]; [9]. Kentang seberat 500 g dikupas, dibersihkan dan dipotong-potong. Kemudian direbus dalam 500 ml aquades selama 2 jam, selanjutnya disaring. Ditambahkan dekstrose 20 g dan agar batang 15 g ke dalam ekstrak tersebut, dipanaskan sambil diaduk hingga homogen. Ditambahkan aquades sampai volume larutan menjadi 1000 ml. Media yang telah siap, dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer, ditutup dengan kapas, dan dibungkus dengan alumunium foil. Kemudian media disterilkan di dalam autoklaf pada suhu 121°C, tekanan 1 atm, selama 15 menit. Setelah media PDA dingin dapat disimpan dalam freezer untuk penggunaan selanjutnya.

g. Pembuatan Biakan Murni Jamur

Buah cabai yang terkena antraknosa diambil dari pasar, kemudian langsung dimasukkan ke dalam plastik, diberi label, tanggal, dan lokasi. Di laboratorium, permukaan buah cabai disterilisasi dengan alkohol, setelah kering bagian yang sakit dan sedikit bagian yang sehat, dipotong 0,5 x 0,5 cm. Kemudian potongan cabai tersebut diletakkan ke dalam cawan petri yang telah berisi media PDA. Jamur yang tumbuh dipindahkan ke media yang baru sampai ditemukan jamur yang diinginkan yaitu jamur *C. capsici*. Kemudian jamur diinkubasi selama 5 hari pada suhu 27 ^{o}C.

h. Pembuatan Suspensi Konidia Jamur

Biakan jamur yang telah ditumbuhkan pada media PDA yang berumur 5 hari diambil sebanyak dua ose atau lebih dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 10 ml aquades steril. Kemudian dihomogenkan dengan vorteks mixer selema beberapa menit. Suspensi

jamur kemudian disaring dan dihitung jumlah konidianya dengan menggunakan haemositometer. Kepadatan konidia yang digunakan adalah 1 x 10^5 sel/ml.

i. Inokulasi Buah Cabai Merah

Tiga buah cabai merah yang telah masak diambil dari setiap tanaman, kemudian dibersihkan dengan alkohol 70%. Buah yang telah steril ditaruh dalam bak plastik yang telah dialasi kertas tissue steril. Pada bagian tengah buah dilukai dngan jarum steril sebanyak 4 lubang dan diteteskan dengan suspensi konidia jamur sebanyak 50µl dengan menggunakan jarum suntik. Untuk menghindari kontaminasi dengan jamur lain, buah cabai yang telah diinokulasi ditutup selama 1 hari dan diamati perubahannya selama 1 minggu [1].

2.5 Parameter Pengamatan

a. Diameter bercak

Diameter bercak dihitung dengan menggunakan penggaris sebanyak 5 kali, kemudian nilai yang diperoleh dirata-rata.

b. Intensitas Serangan

Intensitas Serangan mengacu pada metode Sudjono dan Sudarmadi (1989) dengan rumus

$$IS = \sum_{i=0}^{4} (ni \times vi) / 4N \times 100\%$$

Keterangan :

IS : Intensitas Serangan
ni : Banyaknya atau bagian buah cabai yang terserang pada skor ke i
vi : nilai skor ke i
N : Banyaknya bagian buah yangdiamati

Nilai skor

Skor Kerusakan (v)	Tahap Kerusakan
0	Tidak ada kerusakan
1	1 – 25%
2	25 – 50%
3	50 – 75%
4	≥75

c. Kepadatan Konidia Colletotrichum capsici

Buah cabai merah yang diinokulasi dipotong pada bagian yang busuk dan sedikit bagian yang sehat, kemudian ditambahkan 5 ml aquades, dan selanjutnya divorteks selama 1 menit. Kepadatan konidia dihitung dengan menggunakan hemositometer [8].

2.6 Analisis Data

Analisis Statistika dilakukan terhadap Diameter bercak, intensitas serangan dan kepadatan konidia. Data yang diperoleh dianalisis ragam. Apabila terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan, maka dilanjutkan dengan Uji Wilayah Berganda Duncan (DMRT) pada taraf 5 %

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh datasebagai berikut :

3.1 Diameter Bercak

Diameter bercak yang terbesar terdapat pada kombinasi perlakuan A0B3 (kontrol, lama perendaman 72 jam) sebesar 0,83 cm. Sedangkan diameter bercak yang terendah terdapat pada kombinasi perlakuan A3B2 (konsentrasi 60%, lama perendaman 48 jam) yaitu sebesar 0,24 cm. Untuk data diameter bercak dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Nilai rata-rata Diameter bercak pada buah cabai (*Capsicum annuum* L.) oleh koloni jamur *Colletotrichum capsici*

	Lama Perendaman (jam)			
Konsentrasi (%)	B1 (24 jam)	B2 (48 Jam)	B3 (72 jam)	Rata-rata
A0 (0%)	0,925	0,962	1,006	**0,964b**
A1 (20%)	1,123	1,067	1,119	1,103°
A2 (40%)	1,027	1,154	1,098	1,093°
A3 (60%)	1,064	1,005	1,050	1,039ab
A4 (80%)	1,012	1,072	0,978	1,023ab

Ket : angka yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5% .

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan konsentrasi ekstrak daun kembang sungsang memberikan pengaruh terhadap diameter bercak, setelah dilakukan Uji Duncan diperoleh konsentrasi 0% tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 60% (A3) dan A4 (80%). Tetapi berbeda nyata dengan konsentrasi ekstrak 20% dan 40%. Diameter bercak yang terbesar terdapat pada konsentrasi 20% (A1), seiring dengan kenaikan konsentrasi diameter

bercak semakin berkurang. Pada konsentrasi 20% dan 40 % perkembangan jamur tidak terhambat sehingga mampu menimbulkan bercak yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi 60% dan 80%. Hal ini membuktikan adanya kandungan kolkisin yang terdapat pada daun kembang sungsang mampu menghambat perkembangan jamur *Colletotrichum capsici*.

3.2 Intensitas Serangan

Intensitas Serangan yang tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan A2B2 (konsentrasi 40% dengan lama perendaman 48 jam). Sedangkan Intensitas Serangan yang terendah terdapat pada kombinasi perlakuan A4B3 (konsentrasi 80% dengan lama perendaman 72 jam).

Tabel 2 Nilai rata-rata Intensitas Serangan jamur *Colletotrrichum capsici* pada buah cabai (*Capsicum annuum* L.).

Konsentrasi Ekstrak (%)	Lama Perendaman Benih		
	24 Jam (B1)	48 jam(B2)	72 jam (B3)
0% (A0)	45,833abc	46,873abc	62,500ab
20% (A1)	40,625bc	52,083abc	54,168abc
40% (A2)	43,750abc	**66,668**a	47,918abc
60% (A3)	44,790abc	39,583bc	52,085abc
80% (A4)	52,083abc	45,833abc	**35,415c**

Ket : angka yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%

Kombinasi perlakuan pada A2B2 (konsentrasi 40% dengan lama perendaman 48 jam) yang mempunyai nilai Intensitas Serangan yang tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada kombinasi perlakuan tersebut konsentrasi dan lama perendaman yang diberikan belum efektif dalam mengendalikan penyakit antraknosa sehingga masih mempunyai kemampuan untuk menyerang tanaman cabai. Kemampuan jamur *C. capsici* untuk menyerang tanaman disebabkan adanya toksin yang dihasilkan oleh jamur tersebut yaitu colletotricin yang dapat meningkatkan kemampuan jamur dalam menimbulkan penyakit [9].

3.3 Kepadatan Konidia (sel/ml)

Kepadatan konidia yang terbesar terdapat pada kombinasi A2B2 (konsentrasi 40% dengan lama perendaman 48 jam) sebesar 5,190 sel/ml. Sedangkan jumlah konidia yang

terkecil terdapat pada kombinasi perlakuan A4B1 (konsentrasi 80% dengan lama perendaman 24 jam) sebesar 2,922 sel/ml.

Tabel 2 Nilai rata-rata jumlah konidia jamur *Colletotrichum capsici* pada buah cabai (*Capsicum annuum* L.)

	Lama Perendaman (jam)		
Konsentrasi (%)	B1 (24 jam)	B2 (48 Jam)	B3 (72 jam)
A0 (0%)	4,065abcde	3,510cde	3,005e
A1 (20%)	4,846ab	3,309de	4,746abc
A2 (40%)	3,252de	**5,190°**	5,075a
A3 (60%)	4,381abcd	3,583bcde	3,740bcde
A4 (80%)	**2,922e**	3,176de	3,725bcde

Ket: angka yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%

Kombinasi perlakuan yang terbaik ditunjukkan pada konsentrasi 80 % dengan lama perendaman 24 jam. Pada kombinasi perlakuan tersebut membuktikan bahwa pemberian ekstrak daun kembang sungsang mampu menghambat perkembangan jamur *C. capsici* dengan cara menghambat pembentukan spora yang ditandai dengan jumlah konidia yang paling sedikit , sedangkan pada konsentrasi dan lama perendaman yang tidak sesuai akan mengakibatkan kemampuan jamur *C. capsici* dalam pembentukan spora (konidia) akan meningkat yang ditandai dengan jumlah konidia yang semakin meningkat pula. Menurut [10], tahap-tahap pembentukan spora pada jamur *Colletotrichum* akan diawali dengan pembentukan appresoria yang dapat mengakibatkan jamur tersebut mampu masuk atau melakukan penetrasi ke dalam jaringan tumbuhan, dan diakhiri dengan pembentukan spora (konidia). Seperti yang dikatakan oleh [11] bahwa pemberian kolkisin dalam konsentrasi yang sesuai dapat menghambat perkembangan konidiofor dan kemampuan untuk menghasilkan spora. Hal ini didukung oleh pernyataan [12], bahwa pada umumnya mutagen (agen mutasi) mampu mempengaruhi produksi konidia dengan cara menghambat pertumbuhan konidiofor. Selanjutnya Moore-Landecker (1996) menyatakan bahwa sporulasi tidak akan terjadi jika jamur tumbuh pada kondisi yang tidak mendukung proses pertumbuhan dan perkembangannya.

4 KESIMPULAN

Hasil penelitian yang diperoleh dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

a. Pemberian eksrak daun kembang sungsang memberikan pengaruh terhadap

diameter bercak, intensitas serangan, dan kepadatan konidia

b. Konsentrasi optimum yang dapat digunakan untuk mengendalikan penyakit antraknosa adalah 80% dan lama perendaman 24 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DIKTI yang telah memberikan dana pada penelitian ini dan penulis ucapkan terima kasih kepada Ari Astuti yang telah membantu dalam pengambilan data. Penelitian ini merupakan bagian dari Hibah Bersaing tahun anggaran 2010.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Chen, B. 2005. Screening Sweet Pepper for Resistance to Antracnose Caused by *Colletotrichum capsici*. http ://www.arc-avrdc.org/PDF Files/Chen Baoli (9 – N). pdf.

[2] Syamsuddin. 2003. Pengendalian Penyakit Terbawa Benih (Seed Borne Diseases) Pada Tanaman Cabai (*Capscum annuum* L.) Menggunakan Agen Biokontrol dan Ekstrak Botani. Institut Pertanian Bogor. http ://tumoutou.net/702-07134/syamsuddin.htm. 14/12/2006

[3] Acharya, D., Anshu,S.; dan Garima, S. 2005. *Gloriosa superba* : Naturally a Handsome Herb. http://www.disabled-world.com/artman/publish/glory.html. 4/12/2006.

[4] Addink, W. 2002. Colchicine Used in Plant Breeding Work to Induce Mutation (Poliploidy). http://biotech.icmb.utexas.edu/botany/calch.html. 09/06/2006

[5] Crowder, L.V. 1997. *Genetika Tumbuhan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

[6] Yulianty. 2008. Penggunaan Umbi Kembang Sungsang (*Gloriosa superba* L.) Untuk Mengendalikan Penyakit Antraknosa (*Colletotrichum capsici*) Pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.). Prosiding Seminar Nasional Sains & Teknologi-II. ISBN 978-979-1165-74-7

[7] Harborne, J.B. 1987. *Metode Fitokimia Penuntun Cara Modern Menganalisa Tumbuhan*. ITB, Bandung.

[8] Kim, K.D., Oh, J. and Yang, J.. 1999. Differential Interactions of a *Colletotrichum gloeosporioides* Isolate With Green and Red Pepper Fruits. Phytoparasitica 27: 1-10

[9] Yoshida, S., S. Hiradate., Y. Fujii, and A. Shirata. 2000. *Colletotrichum dematium* Produces Phytotoxins in Antracnose Lesions of Mulberry Leaves. *Phytopathology*. 90 : 285 – 291.

[10] Prusky, D., Ilana Kobiler, Ruth Ardi, Dalila Beno-Moalem, Nir Yakoby, and Noel T. Keen. 2000. Resistance Mechanism of Subtropical Fruits to *Colletotrichum gloeosporioides.* In : Prusky, D., Stanley Freeman, and Martin. B. Dickman. eds. *Colletotrichum* : *Host Specificity Pathology, and Host-Pathogen Interaction*. The American Phytophatological Society. USA.

[11] Sudjadi, M dan Tri P. Priyatno. 2005. Mutasi Jamur Patogen Serangga Hirsutella citriformis Spora Pada Suhu Tingga (350 0C). Balai Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian http:// biogen.litbang.deptan.go.id/terbitan/prosiding/fultext-pdf/prosiding 2007.352-355 sudjadi.pdf. Diakses 16/12/2010.

[12] Elliot, C.G. 1994. *Reproduction in Fungi*. Chapman & Hall. New York

EFISIENSI PEMBUATAN BIOGAS DAN PUPUK DALAM SATU BAK PENAMPUNG: Studi Kasus Kotoran Sapi di Desa Geluntung, Tabanan, Bali

I GP Suryadarma
Jurusan Biologi Universitas Negeri Yogyakarta
samodhaya @yahoo.com Hp 081510125032

ABSTRAK

Kebutuhan pupuk organik merupakan salah satu pilihan dalam menghasilkan produk pertanian dan perbaikan sifat tanah. Sapi adalah hewan piaraan petani sebagai penghasil bahan pupuk. Pemanfaatan kotoran dalam proses sebagai penghasil biogas dan pupuk organik memiliki keuntungan ganda. Tujuan penelitian untuk mencari prototipe bak reaktor mengkombinasikan bahan lokal dan keterampilan masyarakat. Menentuan kapasitas bak reaktor untuk dua ekor kotoran sapi sebagai unit terkecil. Penelitian dilakukan di Desa Geluntung Tabanan. Lokasi bak reaktor dibuat disamping kandang dan gas dihubungkan dengan pipa plastik menuju kompor gas. Data diperoleh melalui pembuatan bak reaktor dengan pemanfaatan kotoran dua ekor sapi dalam satu bak penampung. Kapasitas bak reaktor ukuran minimal 1,5 m x 1,5 m termasuk kubah gas dan penyediaan bak pemasok. Proses fermentasi mulai berlangsung hari ketiga sejak pemasukan kotoran. Kotoran dua ekor sapi setiap hari sebanyak 7,5 kg dan 4,3 liter urine yang bersumber dari 40 kg rumput yang dimakan dan 10 liter air yang diminum. Jumlah kotoran selama 3 bulan sebanyak 675 kg. Kotoran sapi dapat diolah menjadi biogas dengan kapasitas gas setiap hari selama 3 jam masak dalam kompor tunggal selama 3 bulan. Limbah proses biogas sebanyak 275 kg kompos basah dikeluarkan melalui bak pembuka. Pola pemanfaatan kotoran sapi sebagai penghasil biogas dan penghasil pupuk organik merupakan salah satu pilihan dalam produksi pupuk yang bermanfaat ganda.

Kata kunci. *Efisiensi, biogas, bak penampung,*

1 PENDAHULUAN

Masyarakat petani Bali memiliki sejarah panjang dalam pemanfaatan pupuk alami, khususnya pupuk kotoran sapi. Sapi adalah bagian kehidupan masyarakat tani baik sebagai sumber tenaga kerja pengolahan sawah maupun penyediaan pupuk alami. Kemudahan memperoleh pupuk buatan pada awalnya, kini telah menjebak petani dalam ketergantungan. Ketergantungan atas keterediaannya, ketidakseimbangan harga pupuk dengan harga produksi dan terjadinya kerusakan lahan akibat dominasi penggunaan pupuk buatan.

Keberadaan kotoran sapi dan limbah kotoran ternak babi karena peningkatan jumlah pemeliharaan ternak dan intensifikasi pangan, memberi peluang pemanfaatan biomassa tersebut sebagai bahan biogas. Pemanfaatan biomassa kotoran hewan dan kotoran sapi khususnya memiliki keuntungan ganda. Keuntungan pertama karena dapat memperoleh

energi dalam bentuk gas dan sisanya sebagai pupuk organik. Siklus pembuatan dan pemanfaatan biogas dan pupuk dalam proses pembuatan biogas berlangsung paling tidak dalam waktu tiga bulan untuk dua ekor sapi. Pola pemanfaatan dalam siklus tiga bulan untuk dua ekor sapi merupakan pilihan realistik ditinjau dari kenyataan jumlah sapi yang dimiliki petani dan siklus pemanfaatan gas dan pupuk dari pembuatan biogas.

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme pada kondisi anaerob. Komponen biogas didominasi oleh gas metan dan karbondiokasida dan gas lain seperti gas nitrogen dan gas belerang. Biogas dapat dibakar seperti elpiji melalui kompor gas, dan dapat dijadikan sumber energi alternatif yang aman dan terbarukan. Sumber energi biogas yang utama yaitu kotoran ternak, dan kotoran ternak sapi dan babi paling banyak di Bali.

Pemanfaatan energi biogas dari kotoran ternak merupakan satu upaya terpadu dalam menumbuhkan kemandirian masyarakat. Hidup mandiri yang bertumpu pada kultur masyarakat, keunikan wilayah sebagai satu inisiatif masyarakat setempat. Satu desain hidup berkelanjutan yang mengintegrasikan keanekaragaman hayati, kultur masyarakat dan karakter wilayah [1].

Desa Geluntung adalah salah satu desa di Kabupaten Tabanan Bali dimana setiap pekarangan minimal luasnya 20 are (20x10mx10m). Luas pekarangan bagian belakang digunakan untuk pertanian dan peternakan. Sapi dan babi, bebek dan ayam merupakan ternak peliharaan masyarakat. Sapi dipelihara oleh para bapak dan babi oleh para ibu sebagai ternak utama, baik untuk kehidupan subsisten dan ekonomis.

Pemanfaatan biogas kotoran sapi merupakan upaya memperoleh pupuk organik, dan gas dalam meningkatkan nilai guna ternak sapi dan tenaga kerja pertanian. Dalam penelitian ini akan dicari model prototipe reaktor biogas kerangka bata dan bambu untuk mendapatkan produksi biogas minimal dua ekor sapi dan lama jam masak harian serta jumlah produksi pupuk organik satu kali periode proses selama tiga bulan.

2 BAHAN DAN METODE

2.1 Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan di desa Geluntung, Kabupaten Tabanan, berlangsung Maret 2011 sampai dengan Agustus 2011. Pemilihan lokasi didasarkan pertimbangan akademis

dan teknis. Pertimbangan akademis karena di desa tersebut telah terjalin kerjasama dalam upaya inovasi berbagai teknologi tepat guna. Kerjasama antara mahasiswa KKN di Bali, PKL mahasiswa UGM Yogyakarta dan berbagai Negara. Kerjasama melalui kontak informal dan ditindaklanjuti secara formal. Bapak Camat Kecamatan Marga sangat mendukung berlangsungnya kegiatan bersangkutan.

Desa Geluntung memiliki keunikan lokasi dan sumberdaya manusianya. Keberadaan Komunitas Kayon dirintis oleh Ir Agung Putra Dhyana, yang memiliki pengalaman luas dalam pemberdayaan masyarakat, penerapan dan inovasi teknologi tepat guna sekala regional, nasional dan internasional. Seorang ahli, praktisi dan inovator desa mandiri. Desa Geluntung berjarak 12 km dari Kota Kabupaten Tabanan dan 25 km dari kota Denpasar. Desa Geluntung terletak pada 8°10’20” S dan 115°27’20” E. Desa terletak pada ketinggian antara 450 mdpl hingga 700 mdpl, luas total 125 hektar, dan jumlah penduduk 1.593 jiwa dalam 467 KK, dengan 784 orang petani [2].

2.2 Bahan dan alat

1. Bak reaktor, bak pengontrol dan lubang pemasok
2. Kotoran dua ekor sapi selama tiga bulan
3. Air pencampur kotoran sapi
4. Pipa penghubung kran gas ke kompor gas
5. Manometer
6. Kompor gas

2.3 Metoda

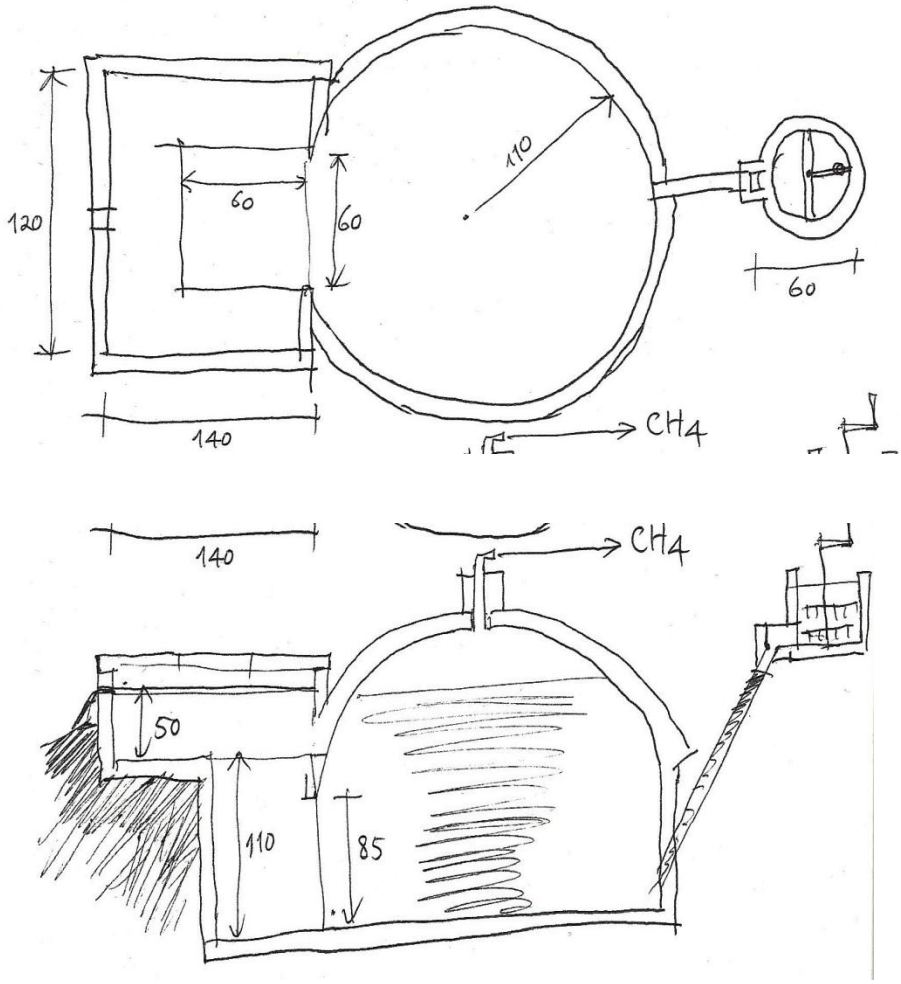
1. Sistem reaktor ganda yang terdiri atas bak bata semen lapis luar dan bak kerangka bambu semen lapis dalam
2. Pengaliran kotoran sapi secara langsung setelah melalui pengadukan
3. Proses pemasokan dan fermentasi selama tiga bulan
4. Pencampuran melalui bak pengendali

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Model Bak Reaktor

Prototipe reaktor biogas skala kecil dengan konstruksi bahan lokal maupun keahlian kultural masyarakatnya. Konstruksi terdiri atas kombinasi satu lapis tembok bata pada bagian

luar dan satu lapis dinding anyaman bambu dicor semen pada lapisan bagian dalam. Bak reaktor bagian bentuk silinder untuk mengurangi tekanan pada bagian pojok, sehingga tidak mudah bocor (Gambar 1). Biaya reaktor dapat ditekan sebesar 25 %, dari total standar harga sebesar empat juta rupiah. Kualitas bak reaktor lebih kuat dan fleksibel karena terdiri atas dua lapisan dinding, dan bahan baku dapat diperoleh dari lingkungan sekitar serta kemampuan masyarakat dalam membuatnya. Tipe alat pembangkit biogas atau digester yang diadaptasi dari tipe kubah tetap. Kubah dibuat dengan kerangka anyaman bambu yang dicor, karena bentuk kubah dapat dibuat lebih mudah dengan kerangka bambu.



Gambar 1 Skematis Bak Reaktor Biogas. Satuan ukuran dalam cm
Atas: Tampak atas, Bawah: tampak samping

Jari-jari bak 110 cm, ketinggian volume kotoran dan cairan 160cm dan volume kubah gas pada bagian atas. Bak reaktor terdiri atas :

a. Baku penampung kotoran dan kencing sapi

b. Kubah gas dan kran pembuka.

c. Bak pemasok kotoran dan pengaduk

d. Bak pencampur kotoran dan air untuk masuk penampung

e. Bak pengaduk

Bak reaktor induk bagian luar menggunakan tembok bata satu lapis bentuk persegi dan bagian dalam menggunakan dinding anyaman bambu dicor semen. Bagian kubah atas menggunakan kerangka anyaman bambu disemen. Reaktor biogas yang banyak digunakan model sumur tembok dan di Indonesia digunakan bak plaktik bersifat buka pasang. Kombinasi bak reaktor dua lapis antara bata dan bambu memiliki keuntungan ganda. Masyarakat setempat penghasil bata, penghasil bambu dan pengrajin bambu keahliannya digunakan dalam kegiatan. Masyarakat akan merasa lebih terlibat sehingga menjadi lebih memahami dan merasa memiliki. Tanah bagian luar bak reaktor berupa tanah lempung, sehingga kekuatan kombinasinya memenuhi standar. Pengembangan alat pembangkit gas bio bertumpu pada prinsip alat yang kedap udara dengan bagian-bagian pokok terdiri atas pencerna (digester), lubang pemasukan bahan baku dan pengeluaran lumpur sisa hasil pencernaan (slurry) dan pipa penyaluran gas bio yang terbentuk [3].

Kondisi topografi lahan memberikan kemudahan penempatan kandang sapi, bak pengaduk kotoran dan kencingnya, bak induk reaktor, bak pengaduk dan bak saluran pembuka limbah biogas. Sponsor berupa alat seharga 2 juta rupiah, pendampingan dan garansi 3 tahun. Dana swadaya baik tenaga kerja dan bahan bata, bambu sebesar 3 juta rupiah. Lokasi kegiatan dikembangkan untuk pelatihan dan pendidikan masyarakat. Proses pembelajaran sains yang produktif dapat diangkat dan ditumbuhkan dalam kehidupan praktis sesuai kultur masyarakatnya (Hidayat, 2002, dalam [4]).

3.2 Jumlah gas dihasilkan

Jumlah kotoran dua ekor sapi setiap hari sebanyak 7,5 kg dan kencing 4,3 liter berasal dari pakan 40 kg rumput dan 10 liter air. Jumlah kotoran 675 kg selama 3 bulan. Kotoran sapi dapat diolah menjadi biogas berkapasitas setiap hari selama 2- 3 jam masak menggunakan kompor tunggal selama 3 bulan. Proses fermentasi mulai berlangsung hari

ketiga sejak pemasukan kotoran. Secara teoritik setiap seekor ternak sapi dapat menghasilkan 2 m^3 biogas per hari. Potensi ekonomis biogas sangat besar, karena 1 m^3 biogas dapat digunakan setara dengan 0,62 liter minyak tanah.

Gas dialirkan melalui kran pengatur pembuka-penutup pada ujung kubah luar. Keberadaan volume gas diukur menggunakan selisih ketinggian air pada manometer. Manometer dibuat secara sederhana menggunakan pipa plastik ukuran pipet dan cairan pewarna dari tanaman suji. Kemudahan dan ketersedian selang plastik berbagai diameter sangat menguntungkan dalam pengaliran gas menuju kompor gas ke dapur. Jarak antara bak reaktor dan tempat masak berada secara terpisah sesuai keperluan. Selain bermakna teknis juga memiliki keuntungan dalam mengatasi hambatan persepsi proses memasak menggunakan kotoran sapi.

3.3 Jumlah pupuk

Jumlah limbah proses biogas sebanyak 275 kg kompos basah yang dikeluarkan melalui bak pembuka dan pupuk basah menunggu pengeringan alami. Pola pemanfaatan kotoran sapi sebagai biogas dan penghasil pupuk organik merupakan salah satu pilihan dalam produksi pupuk yang bermanfaat ganda. Pupuk organik dihasilkan dari proses produksi biogas sudah tentu mempunyai nilai ekonomis dan pupuk organik dapat memperbaiki kualitas tanah.

4 SIMPULAN DAN PROSPEK

4.1 Simpulan

1. Adaptasi kunstruksi bak reaktor ganda melalui penggunaan dua lapisan bata dan kerangka bambu bermanfaat ganda, Pertama memiliki kekuatan lebih dan bahannya dapat diambil dari lingkungan dengan memanfaatkan keterampilan masyarakat. Kedua biaya pembuatan dapat ditekan sebesar 25%
2. Kotoran sapi dapat diolah menjadi biogas berkapasitas setiap hari selama 2 jam masak setiap hari menggunakan kompor gas tunggal selama 3 bulan dan proses pemanfaatan gas sudah dapat dipakai pada hari ke 5

3. Pupuk organik basah selama 3 bulan proses fermentasi sebanyak 275 kg yang dikeluarkan melalui bak pembuka. Pola pemanfaatan kotoran sapi sebagai biogas dan penghasil pupuk organik merupakan salah satu pilihan dalam produksi pupuk
4. Kebutuhan pupuk organik merupakan salah satu pilihan dalam menghasilkan produk pertanian dan perbaikan sifat tanah. Sapi adalah hewan piaraan petani sebagai salah penghasil bahan pupuk.Pemanfaatan kotoran dalam proses sebagai penghasil biogas dan pupuk organik memiliki keuntungan ganda. Tujuan penelitian untuk menentukan besarnya volume bak biogas dua ekor kotoran sapi sebagai unit terkecil. Penelitian dilakukan di Desa Gelunung Tabanan. Lokasi bak dibuat disamping kandang dan gas dihubungkan dengan pipa plastik menuju kompor gas.

4.2 Prospek

1. Pembuatan prototipe bak reaktor memiliki keuntungan ganda, karena dapat mengkombinasikan bambu dan keterampilan masyarakat. Biaya pembuatan dapat diminimalisir sebesar 25% dan upah pembuatan dapat membuka kesempatan kerja dan pelatihan bagi masyarakat. Masyarakat lebih mudah memahami dan merasa ikut terlibat dalam proses tersebut.
2. Masyarakat dapat dipacu karena keuntungan ganda dalam memperoleh pupuk organik dan energi pengganti yang lebih aman dari resiko ledakan
3. Pola tersebut dapat digunakan sebagai ajang pembelajaran bagi semua pihak, khususnya mendekatkan aspek sains ke dalam kehidupan masyarakat yang diangkat dari keunikan kulturalnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada: Ir Agung Putra Diana, selaku tuan rumah dan pengelola komunitas Kayon di Desa Geluntung. Proyek hivos Belanda dan kementerian ESDM Indonesia yang telah mensosialisasikan proyek biogas. Para petugas lapangan yang telah mengijinkan peneliti untuk melakukan inovasi dalam pembuatan reaktor biogas.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Mollison. B. 1987. Desain Manual Permaculture. Tagliari.

[2] Padmarani NGP. 2008. Laporan Program Pemetaan Partisipatif Desa geluntung, Tabanan Bali. Laporan KKL Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Tidak diterbitkan.

[3] Burhani Rahman. 2005. Biogas, Sumber Energi Alternatif. Kompas 2005.

[4] Suryadarma 1995. *Bamboo for Sustainable Life. Past Prsent and Future*.

PENURUNAN EMISI GAS NITROUS OXIDA (N_2O) DAN LAJU NITRIFIKASI PADA LAHAN JAGUNG (*Zea mays*) DENGAN MENGGUNAKAN MIMBA (*Azadirachta indica*) SEBAGAI BAHAN PENGHAMBAT NITRIFIKASI

Oslan Jumadi, Yusminah Hala, Abd.Muis, Andi Asmawati
Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Makassar
Jl. Daeng Tata Raya, Kampus UNM Parangtampung, Makassar 90224
Telpon :+(62)-411-840610/081354743230 Fax :+(62)-411-841504
E-mail: oslanj@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan pupuk nitrogen sangat berperan dalam meningkatkan hasil pertanian atau perkebunan, namun efisiensinya diperkirakan hanya sekitar 30-40%, karena sekitar 30-50% aplikasi pupuk nitrogen dapat hilang karena proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Penghambat nitrifikasi telah direkomendasikan digunakan bersama dengan pupuk nitrogen urea dengan proporsi tertentu dalam intensifikasi pertanian atau perkebunan untuk meminimalis resiko nitrogen lepas ke lingkungan. Penelitian ini menekankan pada aplikasi pupuk urea granul yang diselimuti oleh bahan penghambat nitrifikasi yaitu mimba (*Azadirachta indica*) dan bahan penghambat sintetik *dicyandiamide* (DCD) terhadap produksi atau emisi gas N_2O serta laju nitrifikasi pada lahan Jagung. Desain penelitian merupakan rancangan acak lengkap yang terdiri lima perlakuan yaitu kontrol, urea, urea berselaput mimba 2,5%, urea berselaput mimba 5% dan urea berselaput DCD 5%, dengan 3 kali ulangan. Konsentrasi amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-) yang merupakan parameter utama proses nitrifikasi masing-masing dianalisis dengan menggunakan metode Na-Fenat dan brucin secara *colorimetric*. Pengambilan sampel gas N_2O dilakukan dengan metode chamber tertutup dan gas dianalisis menggunakan *electron capture detector* kromatografi gas. Hasil menunjukkan bahwa pemberian urea berselaput mimba 5% dan urea berselaput DCD 5% dapat menekan secara signifikan produksi N_2O pada lahan Jagung dibanding dengan perlakuan lainya. Perlakuan ini juga memperlihatkan dampak yang paling baik dalam meningkatkan kadar NH_4^+ dalam tanah sedangkan urea berselaput DCD 5% memperlihatkan dampak yang paling baik dalam menurunkan kadar NO_3^- dalam tanah.

Kata kunci: *dicyandiamide*, emisi N_2O, mimba, penghambatan nitrifikasi

1 PENDAHULUAN

Nitrifikasi yang merupakan suatu proses oksidasi amonium (NH_4^+) menjadi nitrat (NO_3^-) dengan hasil antara berupa hidroksilamin, nitrit (NO_2^-) serta gas nitrous oxida (N_2O) yang dilakukan oleh mikroba pengoksida ammonia seperti *Nitrosomonas sp,* pengoksida nitrit seperti *Nitrobacter sp.* N_2O adalah salah satu jenis gas rumah kaca, dan sekitar 75% total emisi gas ini berasal dari lahan pertanian, terutama lahan yang mengaplikasikan pemupukan sintetik, sehingga peningkatan pemakaian pupuk nitrogen dalam tanah akan meningkatkan

emisi gas N_2O. Peningkatan aktivitas manusia dalam mengelola lahan pertanian dapat meningkatkan kandungan nitrogen dan tersedia bahan organik yang dapat memacu peningkatan emisi gas N_2O dan polusi nitrat baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penghambatan laju proses nitrifikasi ditujukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan atau penyerapan usur nitrogen (N) oleh tumbuhan pada sektor pertanian atau perkebunan. Sehingga penghambatan ini dapat meningkatkan hasil panen dan mengurangi unsur N yang lepas ke lingkungan dalam bentuk NO_3^- atau dalam bentukkan gas N_2O. Kedua bentukkan ini merupakan bahan pencemar lingkungan dimana NO_3^- dapat mencemari perairan atau air minum dan menimbulkan dampak kekurangan oksigen pada tubuh atau jaringan terutama rentan pada bayi (*methemoglobinemia*). Sedangkan gas N_2O merupakan salah satu gas penyebab pemanasan global serta perubahan iklim di bumi.

Saat ini ada dua bahan penghambat nitrifikasi sintetik yang dikenal secara luas karena telah teruji dan diperdagangkan secara komersil yaitu nitrapyrin dan dyciandiamide (DCD). Namun, karena masalah harga yang cukup mahal bagi petani menyebabkan penggunaan penghambat nitrifikasi ini tidak menguntungkan bagi petani. Selain bahan sintetik di atas yang mempunyai kemampuan adalah senyawa azardic yang terdapat dalam biji neem (*Azardirachta indica*). Di Indonesia, manfaat biji neem sebagai penghambat nitrifikasi hingga saat ini belum banyak dipublikasikan dan diaplikasikan karena kurangnya informasi serta hasil penelitian yang menguji keefektifan dari bahan organik sebagai bahan penghambat nitrifikasi di Indonesia.

Efek dari tanaman mimba sebagai bahan penghambat nitrifikasi telah teruji dan berpengaruh nyata dalam skala laboratorium terhadap beberapa indikator penghambatan antara lain adalah reduksi gas N_2O, ketersediaan NH_4^+ yang tinggi, serta efek represinya terhadap pertumbuhan mikroba tanah tidak terlihat [1].

Makalah ini memaparkan hasil penelitian penggunaan pupuk urea berselaput mimba (*Azadirachta indica*) terhadap produksi gas N_2O, serta kadar NH_4^+ dan NO_3^- di lahan pertanaman jagung. Penyelimutan urea granul dengan menggunakan ekstraksi biji dan minyak mimba (*Azadirachta indica*) dan dicyandiamide (DCD) sebagai salah satu cara yang efektif untuk menghambat proses nitrifikasi serta lebih mudah pengaplikasiannya di lapangan. Hal tersebut diharapkan dapat meningkatkan kualitas masukan bahan penghambat dalam mengendalikan laju nitrifikasi sehingga dapat menekan produksi gas N_2O dan

pelindian unsur nitrogen dalam tanah, serta dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk nitrogen. Adanya bahan penghambat nitrifikasi ini diharapkan dapat memberikan peluang bagi para petani Indonesia untuk meningkatkan margin produksi pangan khususnya tanaman jagung serta menjaga kesuburan tanah.

2 BAHAN DAN METODE

Penyiapan Bahan Penghambat Nitrifikasi

Dalam penelitian ini menggunakan dua jenis bahan penghambat nitrifikasi yaitu bahan alami mimba (*Azadirachta indica*) dan bahan kimia sintetik dicyandiamide (DCD). Bahan baku mimba dan DCD dicampur dengan urea granul dengan cara proses penyelaputan. Dosis mimba yang digunakan adalah 2,5% dan 5%, sedangkan dosis DCD adalah 5%. Dosis mimba 2,5% berarti dalam 100 gram urea terselaputi oleh 2,5 gram mimba begitupun dengan dosis mimba 5% dan DCD 5%.

Tahap perlakuan

Pemupukan pertama dilakukan seminggu setelah penanaman jagung. Pupuk berselaput bahan penghambat nitrifikasi dibenamkan di sekeliling tanaman jagung dengan jarak 5 cm. Adapun takaran untuk setiap pupuk yaitu 100 kg/ha, yang aplikasinya terbagi dua kali pemupukan dimana pemupukan kedua dilakukan setelah tanaman jagung berumur empat minggu. Pemupukan kedua hanya urea, KCL dan GSP yang diberi pada tanaman jagung.

Pengambilan sampel tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan sebanyak 4 kali untuk mengukur konsentrasi NH_4^+ dan NO_3^-. Pengambilan sampel tanah pertama dilakukan pada hari ke-10 setelah penanaman jagung. Pengambilan sampel tanah kedua dilakukan pada hari ke-25 setelah penanaman jagung. Pengambilan sampel ketiga dilakukan pada hari ke-40 setelah penanaman jagung dan pengambilan sampel terakhir dilakukan pada hari ke-55 setelah penanaman jagung. Tekstur tanah lempung berliat ini merupakan tanah pertanaman jagung (*Zea mays*) di kebun percobaan jurusan Biologi FMIPA UNM Makassar.

Ekstraksi tanah dan pengukuran konsentrasi NH_4^+ dan NO_3^-

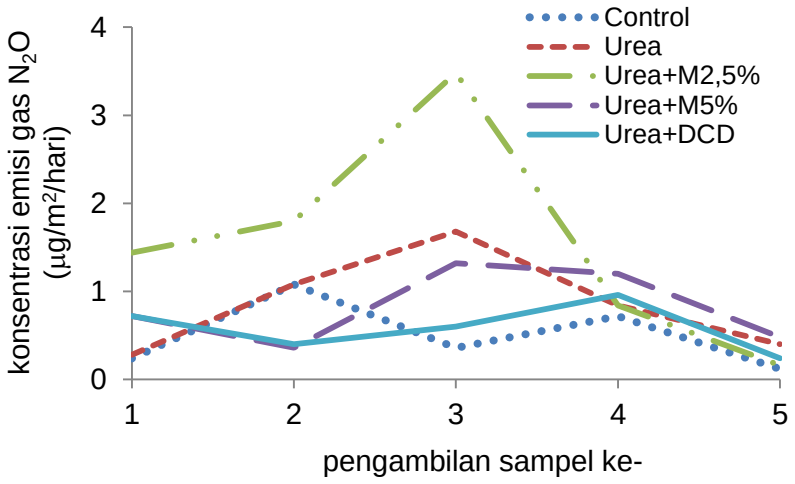
Sebanyak 10 gram sampel tanah dilarutkan dalam 20 ml aquabidest, lalu dishake selama 30 menit dengan kecepatan 200 rpm, kemudian disentrifugasi selama 35 menit. konsentrasi NH_4^+ dan NO_3^- diukur dengan masing-masing dengan pereaksi Na-Fenat dan brucine.

Pengambilan Sampel Gas

Pengambilan sampel gas dilakukan dengan dengan metode *close chamber technique*. Pengambilan gas pertama dilakukan 10, 20, 35, 50, dan 65 hari setelah tanam. Gas selanjutnya dianalisis dengan menggunakan gas kromatografi dengan *electron capture detertor* (Shimadzu G-14B-ECD).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh pemberian pupuk urea berselaput mimba terhadap konsentrasi emisi gas N_2O pada tanah tekstur lempung berliat dapat juga dilihat pada gambar 1.

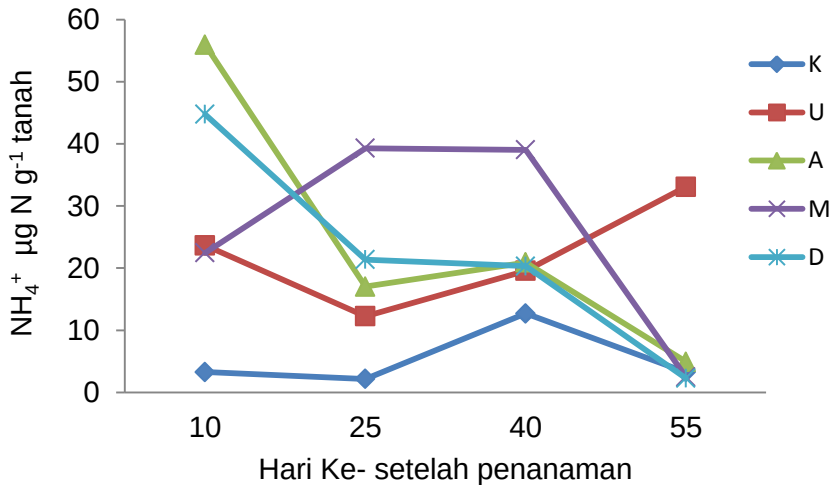


Gambar 1 Konsentrasi emisi gas N_2O setelah aplikasi

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dari emisi gas N_2O pada pengambilan sample ke-3 (hari 35 setelah tanam) untuk tiga perlakuan, masing-masing urea (1,68 N-µg m^2 $hari^1$), urea berselaput mimba 2,5% (3,48 N-µg m^2 $hari^1$), urea berselaput mimba 5% (1,32 N-µg m^2 $hari^1$). Penurunan gas terjadi setelah

pengambilan gas ke-3 (gambar 1). Peningkatan konsentrasi emisi gas N_2O kemungkinan disebabkan oleh kadar air tanah dan ketersedian NO_3^- yang tinggi pada hari ke 35, sehingga N_2O yang dihasilkan dapat berasal dari kontribusi proses denitrifikasi.

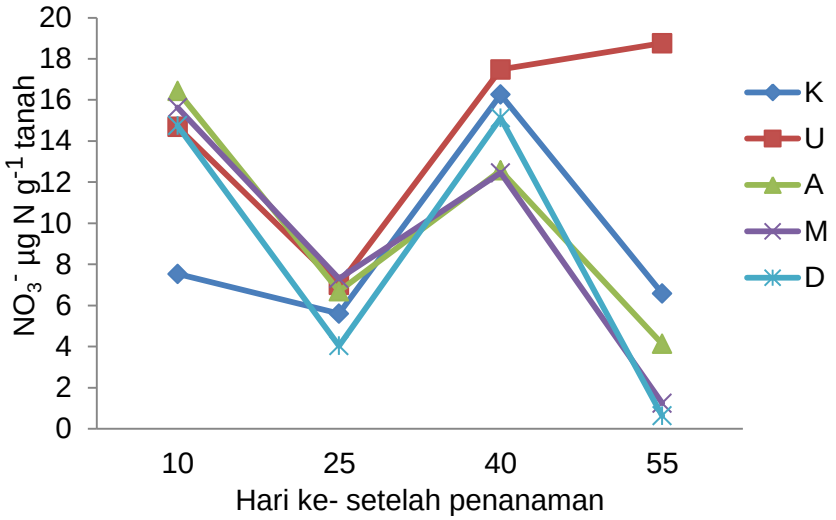
Dari gambar 1 terlihat bahwa represi N_2O terlihat hingga pada 20 hari setelah tanam atau 17 hari setelah pemupukan dilakukan, hal ini juga mengindikasikan bahwa bahan penghambat mimba ini bekerja efektif dalam kurun waktu sekitar 2 minggu dibanding dengan DCD5% hingga 3 minggu. Peningkatan N_2O pada mimba 5% dimungkinkan karena mimba selain mempunyai bahan represi juga mengandung unsur nitrogen organik yang memungkinkan terjadinya produksi gas N_2O yang tinggi dan ditunjang dengan kelembaban tanah.



Gambar 2 Rata-rata kadar NH_4^+ (µg N g^{-1} tanah) yang dihasilkan setelah perlakuan dengan aplikasi pupuk urea berselaput bahan penghambat nitrifikasi.

Gambar 2 menunjukkan rata-rata kadar NH_4^+ dari setiap perlakuan, dimana diperoleh hasil yakni pada hari ke-10 kecuali perlakuan kontrol (K), semua perlakuan menghasilkan kadar NH_4^+ yang tinggi. Kemudian pada hari ke-25 kadar NH_4^+ mengalami peningkatan hanya pada perlakuan urea+mimba 5% (M) sedangkan kadar NH_4^+ mengalami penurunan pada perlakuan K, urea (U), urea+mimba 2.5% (A) dan urea+DCD 5% (D). Selanjutnya pada hari ke-40 kadar NH_4^+ meningkat pada perlakuan K, U, A sedangkan pada perlakuan M dan

D mengalami penurunan. Selanjutnya pada hari ke-55 kadar NH_4^+ pada perlakuan U meningkat, sedangkan kadar NH_4^+ pada perlakuan K, A, M dan D mengalami penurunan.



Gambar 3 Rata-rata kadar NO_3^- (µg N g^{-1} tanah) yang dihasilkan setelah perlakuan dengan aplikasi urea berselaput bahan penghambat nitrifikasi.

Gambar 3 menunjukkan rata-rata kadar NO_3^- dari setiap perlakuan mengalami fluktuasi, dimana diperoleh hasil yakni pada hari ke-10 kadar NO_3^- pada semua perlakuan cukup tinggi. Selanjutnya pada hari ke-25 kadar NO_3^- pada semua perlakuan menunjukkan penurunan yang sangat drastis dan pada hari ke-40 kadar NO_3^- pada semua perlakuan memperlihatkan peningkatan yang tajam. Selanjutnya pada hari ke-55 kadar NO_3^- pada perlakuan K, A, M dan D mengalami penurunan kembali, sedangkan pada perlakuan U mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena dilakukan pemupukan yang ke-2 dengan menambahkan urea sebanyak 4,82 g hanya pada plot U.

Kadar amonium pada perlakuan urea berselaput mimba 2,5% dan perlakuan urea berselaput DCD 5% ini sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan pupuk urea berselaput mimba dan DCD yang mempunyai daya dalam menghambat laju nitrifikasi, sehingga ketersediaan amonium (NH_4^+) dalam tanah tinggi. Selain itu bahan mimba dan DCD mengandung juga unsur nitrogen sehingga proses ammonifikasi yang tinggi kemungkinan berlangsung terutama pada penambahan mimba, namun jumlah nitrogen ini sudah terkonversi atau masuk dalam dosis pemberian pemupukan.

Biji mimba dapat dijadikan pupuk organik karena mengandung unsur hara yang penting bagi tanaman. 1 kg cake biji mimba mengandung nitrogen sebanyak 35,6 gram [2]. Dicyandiamide (DCD) dapat juga bertindak sebagai pupuk N lepas lambat yang mengandung nitrogen sebesar 65%. Sebagai tambahan, DCD tidak bersifat toksik dan tidak bersifat higroskopis [3]. Selain itu dengan adanya mimba dan DCD sebagai bahan penghambat nitrifikasi yang mampu menghambat proses perubahan ammonium menjadi nitrat, sehingga ketersediaan amonium tinggi di dalam tanah dapat dimanfaatkan atau diserap oleh tumbuhan secara efisien. Biji mimba mengandung bahan kimia yang biasa disebut dengan triterpenes, dimana triterpenes ini dapat menghambat aktivitas dari bakteri yang berperan dalam proses nitrifikasi [4]. Senyawa sintetik dicyandiamide (DCD) berfungsi menghambat perubahan ammonium menjadi nitrit dalam proses nitrifikasi. Penggunaan senyawa sintetik penghambat nitrifikasi tersebut terbukti efektif mengurangi kehilangan N tanah [5].

Kadar amonium pada perlakuan urea berselaput mimba 5% mengalami peningkatan, hal ini disebabkan oleh mikroorganisme tanah telah aktif dalam mendekomposisi bahan organik dari mimba 5% dan mengalami amonifikasi sehingga amonium dalam tanah tersedia dalam jumlah besar. Kadar amonium mengalami penurunan pada perlakuan urea berselaput mimba 2,5%, mimba 5% dan DCD 5% disebabkan karena amonium yang terdapat di dalam tanah sudah habis terpakai atau diserap oleh tanaman jagung atau hilang terlindi dalam bentuk nitrat.

Tanaman menyerap nitrogen dalam bentuk amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-) yang masing-masing mempunyai sifat dan perilaku spesifik [5]. Amonium berbentuk kation yang akan tertahan oleh partikel tanah yang bermuatan negatif sehingga relatif stabil dalam tanah. Sebaliknya nitrat yang berbentuk anion bersifat lebih mobil dan tidak ditahan oleh partikel tanah sehingga mudah hilang terlindi, terbawa oleh limpasan permukaan (*runoff*) atau hilang teruapkan dalam bentuk gas N_2O, NO dan N_2 melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Walaupun tanaman dapat menyerap N dalam bentuk NH_4^+ dan NO_3^-, namun NH_4^+ akan lebih efisien.

Berdasarkan hasil analisis kadar nitrat pada tekstur tanah lempung berliat pada hari ke-10, 25, 40 dan 55 setelah penanaman maka diperoleh hasil pada gambar 3 yang menunjukkan bahwa pada hari ke-10 kadar nitrat cenderung rendah pada semua perlakuan terutama pada kontrol. Hal ini disebabkan karena pada perlakuan ini tidak diberi pupuk urea

berselaput bahan penghambat nitrifikasi sehingga kadar nitratnya sangat rendah. Kemudian disusul oleh perlakuan urea berselaput mimba 5%, perlakuan urea berselaput DCD 5% dan urea berselaput mimba 2,5%. Rendahnya kadar nitrat pada perlakuan tersebut disebabkan oleh pemberian pupuk urea berselaput bahan penghambat nitrifikasi yakni ekstrak biji mimba dan DCD yang dapat mempengaruhi laju nitrifikasi yang ditunjukkan dengan tingginya kadar ammonium dan rendahnya kadar nitrat. Kemungkinan karena hal ini disebabkan karena kandungan kimia bahan penghambat nitrifikasi yang digunakan mampu menghambat proses nitrifikasi di dalam tanah. Bahan kimia yang terkandung dalam biji mimba mampu menghambat aktivitas mikroba yang bertanggung jawab terhadap proses nitrifikasi (*nitrifying*), tepatnya penghambatan proses perubahan senyawa amonium ke nitrit sehingga memungkinkan ketersediaan akan N-amonium dalam tanah dapat diserap oleh tanaman [6].

4 KESIMPULAN

Hasil menunjukkan bahwa pemberian urea berselaput mimba 5% dan urea berselaput DCD 5% dapat menekan secara signifikan produksi N_2O pada lahan Jagung dibanding dengan perlakuan lainya. Perlakuan ini juga memperlihatkan dampak yang paling baik dalam meningkatkan kadar NH_4^+ dalam tanah sedangkan urea berselaput DCD 5% memperlihatkan dampak yang paling baik dalam menurunkan kadar NO_3^- dalam tanah. Melihat dampak penekanan nitrifikasi dari bahan mimba tersebut maka perlu dilakukan penelitian feasibility dalam skala yang luas.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai dari penelitian strategis nasional batch Universitas Negeri Makassar dan ucapan terima kasih kepada A.Bida Purnamasari, S.Si dan Heru P.Hastuti, S.Si atas kerjasama yang baik selama pengambilan data serta team yang ikut dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Jumadi, O. and Hala, Y (2009). Supression of N_2O Production and Soil Urease Activity by Nitrification Inhibitor Prepared from Neem (Azardirachta indica). SEA-EU-NET and MENRISTEK, Bogor, Indonesia.

[2] Agus, F & Rahayu, S. 2004. Mimba (Azadirachta indica) dan Manfaatnya. Pidra. World Agroforesty Centre Transforming Lives and Landscape.

[3] Jumadi O, Hala Y, Muis A, Ali A, Pelennari M, Yagi K, Inubushi K. 2008. Influences of Chemical Fertilizer and A Nitrification Inhibitor on Green House Gas Fluxe in A Corn (Zea mays L) Field in Indonesia. Microbes Environ. 23: 29-34.

[4] Akhtar, M. 2000. Nematicidal Potential of The Neem Tree Azadirachta indica. Integrated Pest Management Review, 5: 57-56.

[5] Purwanto, 2009. Pengendalian Nitrifikasi Untuk Meningkatkan Efisiensi Pemupukan Nitrogen. Pidato Guru Besar pada Sidang Senat Terbuka Fakultas Pertanian UNS. Surakarta.

[6] Sharma, S.N & Prasad, R. 1996. Use of Nitrification Inhibitors (Neem and DCD) to Increase N efficiency in Maize-Wheat Cropping System. Fertilizer Research 44: 169-175.

A CONCEPT OF SUSTAINABLE TOFU INDUSTRY BY LINKING IT WITH SOYBEAN PRODUCTION IN INDONESIA

Setyadjit[1], D.A. Setyabudi[1], E. Sukasih[1] and E.M. Lokollo[2]
[1] Indonesian Centre for Agriculture Postharvest Research and Development
Indonesian Agency for Agriculture Research and Development
Bogor 16114, Email : Pascapanen@yahoo.com
[2] Indonesian Centre Agro-Economics Research and Development, Bogor, Indonesia
Indonesian Agency for Agriculture Research and Development

ABSTRACT

This study is a case study in Sumedang district, West Java which is 'tahu' producing area and the origin of 'tahu Sumedang'. Guide line survey was done to characterize the 'tahu' industry and a concept of sustainable model also developed. In Sumedang there were 220 small processors, the biggest was 'SB' which is a family business. The marketing of the company apparently is a 'simple franchise' system. This type of marketing is also the unique characteristics of the SB to be the leader of the business. A model of sustainable soybean processing-soybean production was made to allow a link of local authorities of Industry, Trade, Agriculture, farmers, processors; IAARD and UNCAPSA; DG Food Crops and DG Processing and Marketing.

***Keywords* :** *Soybean, Tahu Sumedang, Franchise, model*

1 INTRODUCTION

Indonesia is now the importer of soybean, each year it is required 2 millions tones of soybean, only 500-700 million is able to be produced by local farmer. The soybean processing is currently strives, but the role of farmers in supported the industry required to be increased. The use of soybean for processing industry is generally for 'kecap' production, 'tauco', 'tahu' and 'tempeh'. Tempeh is traditional food made of boiled soybean and inoculated with *Rhyzopus sp*. It is appear as moldy product. Both of these products are rich in protein, and heavily consumed by Indonesian. However, in this study was concentrated only in tofu.

'Tahu' is a type of tofu with has specific characters and very popular in Indonesia is basically a coagulated protein from soybean. Because it is rich in protein the contribution of this product to the cheap and wide spread source of low income protein is unquestionable. It is eaten by most of civilian as dish to accompany rice or consumed as snack food. There are

many types of ‘tahu’ in the market place at the moment such as vegetable ‘tahu’ is for cooking purpose, silk, and hard ‘tahu’. According to the general brand, there are many types of tofu such as ‘Takwa’, ‘Sumedang’, ‘Kuningan’, ‘Yun Yi’. Each general brand has its own characteristics such ‘Takwa’ is normally yellow in colour, hard tofu, and relatively big in size. ‘Tahu’ Sumedang has internal texture similar to silk ‘tahu’; with skin contour is curly when it is fried.

The popularity of ‘tahu’ Sumedang directed the research team chose, Sumedang as the place for the case study. There are many innovations existed in ‘tahu’ industry, the research team, then, interested to explore characteristics in ‘tahu’ industry. The study was an action research of efforts to study the character of the industry in ‘tahu’ Sumedang, the local, very popular ‘tahu’ spread out throughout the big city in Indonesia.

The grand goal of the activity was to alleviate the poverty of soybean farmers through a postharvest approach. Thus a model also was developed for a sustainable soybean production in Indonesia by linking between ‘tahu’ processing and production of soybean. By linking the strive ‘tahu’ industry to the farmers, the farmers income would be sustainable and increased.

2 METHODS

This research always refers to the procedure as described by [1, 2]. There were some requirements that want to be included such as there is always involvement of stakeholders and/or beneficiaries. Sumedang (West Java) was chosen since the ‘tahu’ is very popular, compared to other ‘tahu’ industry such as Kediri (East Java), Kuningan the Sumedang is the most popular throughout big city. There were 2 main activity such as technical and non-technical.

1. Introductory characterisation of technical and non-technical aspects

   Survei on technical (quality), non-technical (management), comparative study, quality analysis.

2. Non-technical activity

   There were some group discussion *i.e.* within the local agriculture authorities, agriculture authorities and industry and trade authorities, and all the technical

authorities in Sumedang. The Agenda for the meeting was trying to boost the 'tahu' industry through the franchise business.

Workshops and meeting have been performed between UNCAPSA(United Nations Centre for Alleviation of Poverty through Secondary Crop) and IAARD and local Agriculture authorities; UNCAPSA-IAARD (Indonesian Agency for Agriculture Research and Development), local agriculture authorities, and local trade authorities; UNCAPSA-IAARD, local agriculture authorities, and local trade authorities, economic and development authorities, local plantation authorities.

Storage test was performed on 'tahu' Sumedang by local processors produced in Bogor. The 'tahu' then were treated by submerging in boiled water, daily water change, stored at ambient temperature; submerged 1% acetic acid, stored at ambient temperature; submerged in boiled water and stored at 7 ^{o}C. Organoleptic test used 10 semi trained panelis (score : 1 no smell, 2 rather smell, 3 smell).

The technology testing on acetic acid 'tahu' (74 ml/0.5 kg soybean), and pure $CaSO_4$ (6 g/0.5 ml soybean). The score was performed on the product by 1 trained panel. The score : 1 very soft (Yun Yi), 2 soft (cooking 'tahu, Sumedang), 3 rather hard ('tahu' Bandung), 4 hard (harder than 'tahu' sutera), 5 very hard ('tahu' Takwa).

4 RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Results

Coclusions of Meeting within Sumedang Agriculture Authority

Sumedang Agriculture Authority has not heard about franchise, particularly when it is applied on 'Tahu' Sumedang. It is necessary to discuss this matter to a bigger forum in Sumedang Agriculture Authorities would guarantee the next meeting.

Conclusions of Meeting among Sumedang Agriculture Authorities and Industry and Trade Authorities

- Industrial and Trade Authorities, particularly the Sub Authorities of Trade was very interested to the franchise plan.
- The first franchise step should register to the Directorate of Intelectual Property Right what would come for franchise, as an example is the recipe of KFC (Kentucky Fried Chicken).

- For Sumedang the formula, the process and sale system belongs to the processors.
- In the past there is a contribution from processors to the local government but there was not any contribution to it except the sewage contribution.
- There was an idea from Capacity of Local Socio-Economic to patent the 'Tahu' Sumedang, however, the patent object belonged to private processors.
- The processors comprised of many small and medium companies such as Sari Bumi, Cipta Rasa, Pala Sari, Bungkeng, etc.
- The answer that the processors cannot use local varieties, so far, the local varieties fulfill other needs beside tofu. *i.e*. for production of sprout.
- There was an idea to build the private consortium so that some body who wants to be franchiser can choose one of them.
- There was an idea to register the process but the process was really belong to the processors so it could not be registered by local governments, local institutions have different task.

Conclusions from Sumedang Authorities Symposium

- The UN-CAPSA program is to decrease the poverty
- Is it possible to make the franchise with simpler system?
- Soybean for raw material of processing was imported, the requirements was 10-15 tones per day, un-stability of price , and un-continues of supply is also the problem
- Local agriculture employment was more or less 39.5% wihin Ca. 1 million inhabitant with unemployment of 8.5%.
- In some areas the level of poverty was very high
- Other product caharacteristis for Sumedang: banana 'sale', 'oncom', sweet potato cv. Cilembu, 'talas', 'opak' from sticky rice, tobacco cv. Kayu Sawit which is very popular for some generation. There was some question to register these.
- For 'tahu' it was required to do R and D, and who will be the holder. There was a chance how to preserve the 'tahu' with certain recipe.
- Who will do the registration, and which standard of process
- Patent is the scientific appreciation to some body or a group who doing the research
- The other chance was to research the healthy preservative which was non formalin

- Local authorities required to build institution for quality control to always increase the quality
- May be the trade mark can be registered
- There were 220 local processors that can be divided into 4 groups *i.e*. Bungkeng, Palasari, Sari Bumi and Oyib.
- The wages of 'tahu' production was 20-35,000 rupiahs per day whilst Regional Minimum Wages was 512,000 rupiahs per month

Desk Study on Franchise

Franchise in Indonesia is regulated by Government Rule no. 16 dated 18th June 1997, then it was backed up by Ministry of Industry Decree dated July 30th 1997 about the definition and registration system for franchise. There are 2 types of franchise such as product and brand or business format. Business format is much more complicated compared to product and patent. Franchisee can be company or individuals. The franchiser also can be individual or company. The agreement has to be made in written document between the franchisee and franchiser. Before signing the agreement, the franchisee has to give written document about his/her identity, the activity of business including profit and loss balance for the last 2 years, intellectual property or characteristics of business, requirements to be fulfilled by franchiser, assistance and facility provided by the franchiser, right and obligation of both sides, way and conditions how to end and break, and continuation of franchise, and other matter has to be understood by the franchiser in the execution of the agreement.

There is an opinion that the enterprise should have at least 5 year experiences so its performance already known. But, this was not regulated by the Government Rule. The other that still related to the performance of the enterprise [3] is a quantitative performance. The analytical technique such as pay back period, average annual accounting rate of return, net present value, profitability index, internal rate of return, net present value, also R/C and B/C ratio. The franchiser as much as possible should understand this matter.

The minimum time of franchise agreement is 5 years; the document minimum contained name, address and the domicile of both sides; name and position of both sides who will sign the agreement; name and type of intellectual property right, findings or

characteristics of enterprise such as management system, sale system or arrangement of distribution system which is the characteristics of franchise object; right and obligation of both sides and facility received by franchiser; marketing disposal; time of agreement and extension system and requirements for extension of agreement; to solve the dispute; all the main rules which are agreed and can break the agreement; compensation when the agreement break; way to pay the fee; the use of goods or local production produced and supplied by small enterpreuneur; building, guiding and training to the receiver of franchise. Disposal border can be national or part; franchisee has to have 'SIUP' and/or enterprise permission from other technical department.

The franchiser has to register its enterprise and its written document to the industry department for the born of STUPW (registration form); registration has to be done at least 30 days after the agreement start; the registration will be used to guiding and developing the franchiser enterprise; STUPW will made 2 copies and signed by franchiser or on behalf; the form of STUPW is free of charge.

The filled STUPW and 1 copy of the agreement and enterprise registration has to be agreed within 5 days; if the document has not completed yet will be rejected within 5 days, and can be reprocesses. The time of operation is the same to the agreement.

Desk study on intelectual property right

Intelectual property right is under the DG of Property Right under the Ministry Decree of Law and Human Rights, No. K-01.PR.07.10.year 2001. There are directorate of copy right, industrial design, integrated circuit map design, and trade secret; directorate of patent; directorate of mark. Patent is special right given by the country to the inventor on technology, for given time. For patent there is a law No. 14 year 2001.

Copy right is human work on science, art and literature. Industrial product design is every lines or colours, with rules that the composition or shape give special appearance on industrial result/produce that can be used as a pattern to one industrial results/produce. Brand or trade mark is a sign which can be a form of picture, name, words, letter, number, colour arrangement or combinations of elements which have characteristics and used in the trade of goods and services. There are many marks such as trade mark, service mark, and collective mark. The law of mark is law no. 15 year 2001.

Brand or mark

There was design for the trade mark (picture not presented) that can be used by local government, with many processors will join. The brand is 'Tahu Sumedang Cadas Pangeran', cadas pangeran is the name of the place which very popular. But, the processes will be under the individual processors who joint. This will at least protect the characteristics of Sumedang 'tahu'.

'Tahu' Storage

Tahu can be stored well at 5 ^{o}C for 2 weeks, at room temperature can only last for 2 days but has to be submerged in boiled water and at 24 h interval of water change. When it was submerged in 1 % vinegar or acetic acid was > 2 weeks storage at ambient temperature but the taste was unacceptable.

Coagulant for 'Tahu'

'Tahu' produced by vinegar (74 ml/0.5 kg) produced hard 'tahu' (Score 5), pure calcium sulphate (6 g/0.5 kg) produced hard silk 'tahu' (Score 4). Organoleptic reference was : Score 1 (very soft) – Yun Yi, score 2 (soft)-cooking and Sumedang 'tahu', Score 3 (rather hard), Score 5 (very hard), Takwa 'tahu'.

Phone Survey

The last call (2005) to the company indicated that Sari Bumi can accommodate the demand for join the business. The factories out side Sumedang can sell 'tahu' from nearest branch plant. There will be fee for warranty for 1 million rupiahs for selling in the carts whist for in the room business is Rp. 750,000,-. This one has to be paid in the central (Sumedang), then the cart or other utensils can be sent to the interested person. After registered the 'tahu' can be sent to the vendors from the closest branch plant. The branch plant are located in Bogor, Ciputat, Bekasi and Tangerang. The brand 'Sari Bumi' is allowed to be used. The latest observation if it was done should give the picture of more wispread of the product seller around jabodetabek.

4.2 Discussion

From the small B/C ratio of 'tahu' production *i.e.* 0.26 [4], the turn over is required very high, so that the profit can be maintained. But the low B/C ratio only when processing the 'tahu' from soybean. Bigger profit can be gained in preparing 'tahu' is sold as fried

‘tahu’. For small scale processors has to prepared ‘tahu’ from soybean and has to sell the ready to eat ‘tahu’.

To gain a very high turnover required very high investment, both money and employee. To increase the turnover it is also required to increase the marketing network. Company like Sari Bumi is very smart to grasp the opportunity, it is proven by the opening of branches outside Sumedang, whilst within the Sumedang there are some outlets whether their own, consignment, and agent with 1 million rupiahs warranty fee. In his outlet there are also other food such as ‘lontong’ is an effort to increase the turnover. Product diversification is not only performed by Sari Bumi but also by Palasari and Bungkeng. Sari Bumi pay worker above the regional minimum wages (Rp. 700,000,- per month; regional wages Rp. 512,000,-) which show better management appearance and own sewage treatment facility in their plant. Sari Bumi is also able to contribute to the water retribution to local government. Company like Sari Bumi also absorb the employment, small processor/retailer join the force also can enjoy the additive income. Sari Bumi has a role to reduce poverty level.

Is the collaboration such as done by Sari Bumi: branches, small vendors, and Supermarket is franchise system? Lets have a look on example of franchise agreement (confidential) on healthy noodle. In the document it is necessary to have both sides between franchisee and franchiser including the definitions. There are also chapters on the main agreement (1), franchise object (2), time of agreement (3), fee and the way to pay (4), marketing region and location for marketing (5), guidance and training (6), the provision of material for franchise (7), quality control (8), warranty on good name and confidential (9), promotion on franchise (10), intelectual property right (11), break the agreement (12), end the agreement (13), the return of franchise object (14), law and solving the dispute (15), others (16), other chapters.

For Sari Bumi with its branches is not franchise, because the branch is closed system within family. Supplying the supermarket with consignment system is also not a franchise. But, for Sari Bumi with small vendors may have the characteristics of franchise. The relationship between both sides each times, involvement of many small vendors is one of the characteristics of franchise. There is also object, fee, guidance and training, but no property right registration except the uncooked ‘tahu’ been supplied. However, the characteristics of product (better when consumed at ambient temperature), is not easy to be copied. Thus, this

relationship is called “a simple type of franchise “ without registration to the government. The simple franchise provides other vendors to join the trade system by frying and selling of ‘tahu’ Sumedang Sari Bumi particularly for small vendors outside Sumedang.

Is the strive processing of ‘tahu’ Sumedang has strong contribution to soybean farmers? The ideal system when the country of processors is also the producers of soybean. But ca. 30% of local soybean is absorbed by the markets. In Sumedang, the raw material for processing 10-15 tones/day whilst the production only 596 tonnes per year in 2003. It is very far for being fulfilled. The prejudice that the processors are not willing to use local varieties is not an evidence. Sari Bumi used to use Wilis in the past. Shakti is also soybean varieties with high ‘tahu’ yield and good taste [4]. It is clear that understanding the local variety for ‘tahu’ processing and relationships between farmers and processors are required to be improved. It is necessary to have trials on processing of new varieties for characterization of varieties. The industry required the sustainable soybean supply with small variation in quality within the supply. If all of the concept is available : coordination among the technical local authorities such Agriculture, Industry, and Trade is the main requirements to guarantee the use of local varieties for processing. The existing business is required to be evaluated particularly for socio-economic so that there will be no bias when the program applied. Other reducing cost is only cultivate after paddy is also increase farmer profit. The trade authorities should regulate the import price and distribution so that the price of local soybean is fair and stable.

The main composition of ‘tahu’ is protein and fat. If it is stored inappropriately there will be the massive growth of microbes which will destroy the ‘tahu’and the worse thing can happened such as the growth of pathogen. To store ‘tahu’ is ideal at refrigeration temperature 7 ^{o}C, it is adequate by the use of commercial household refrigerator. For cheaper technology, it is worth to place a further experiment by keeping the ‘tahu’ in light solution of vinegar (<1%) or salt, or the combinations. Submerging in boiled water only can prolong up to 2 days at ambient temperature and it is needed to refresh the water every day. The recommendation can be used by small vendors so that they now how long their product can be stored.

Characteristics of coagulation of ‘tahu’. ‘Tahu’ can be made by using vinegar for hard ‘tahu’ such as Takwa from, Kediri, East Java. ‘Tahu’ made from calsium sulphate has the hard silk ‘tahu’. When both of them fried, it cannot expand like ‘tahu’ Sumedang. In some cases ‘tahu’ Sumedang has internal texture similar to ‘tahu sutera’, but the outside when fried

is curly contour. This evidence showed that the coagulator very important to determine on the properties and characteristics of ‘tahu’

Other superior product from Sumedang: ‘oncom’, ‘banana sale’, sweet potato cv. Cilembu, taro, ‘opak’ from sticky rice, tobacco cv. Kayu Sawit are very potential for patent. However, to register for patent it is very important to consider the aim, target market, the tools for marketing is also clear. In Indonesia the property right has been regulated such as Regulation No. 29 year 2000 for crop varieties, Regulation No. 30 year 2000 about trade secret, Regulation No. 31 year 2000 for industrial secret, besides there are also copy right, patent and Mark [5]. If we think superficially the production process such as ‘oncom’, ‘opak’ and ‘banana sale’ can be registered as patent, whilst sweet potato and taro can be registered in variety regulation (PVT). All the service required a fee, thus it is very important to choose the object to be registered. However, patent registration is not the goal of this research project. There is also a geographical indication for plant endemic in certain areas.

If the local government was willing to do, the brand can be registered by the local government. Local government is not the producers of ‘tahu’ but has own areas for guidance and improvement. By working together with local processors, the franchise system can be developed, with local consortium. This can be done by using a similar format to geographical indication but it is done to scaterred processors within the area of ‘tahu’ Sumedang.

Soybean farmers have not enjoy the strive of Sumedang ‘tahu’ business with the requirements of 2.2 millions tones only 500 – 700 tones grown locally. According to soybean association is it because the application of tariff remittance. Before, there was bigger portion supplied by local farmers *i.e*. 1.2 tones. According to the soybean association, from 2.2 tones/hectare the cost of production per kg Rp. 3,177,- per kg. In peak seasons such as May – June or October – November, the price of soybean can drop to Rp. 2,500,- per kg. There is an indication required to develop sound regulation on trade when the link between farmer and processors getting stronger. There are also other opportunities such as processors which only fit with local varieties since the skin is thin, such as ‘tahu’ Poo from Kediri, East Java.

How to increase the soybean farmers income? The suggestion from the research team is conducting further research to the location of case study such as Sumedang. There will be 2 target groups such as the farmers and processors. The respondent number will be 30 people to fulfill the statistics. By known the price of land, and price of production, floor price can be

gained. There number of respondent for processors is also the same if possible. The use of only big processor is also possible when the turnover is adequate and willingness to cooperate. The weakness of this questionaire, there has not included seed varieties which produced superior 'tahu' such as Wilis and Shakti.

Recommendation to increase the farmers income (Figure 1) with providing plot study in Sumedang. The principle of SCM [1, 2] should be used in the approach. After the survey which agenda the improvement of local soybean varieties, it will be discussed the need to introduced 'appreciation of local farmers soybean'. If there is not any agreement achieved, the cause will be determined and socialization will be made. The best local varieties will be introduced into the processors for trial and mutual evaluation. The calculation will be made on the requirements of the processors, varieties, and farmers profit. If the result is not feasible, it requires intervention of IAARD and UNCAPSA for improvement. After everything OK, there will be MoU between farmer association, processors association, with local authorities as the referee. It is better if there is time frame i.e. peak season for farmers both May – June and September-October. The results after for some times , required an evaluation and application on bigger locations.

At bigger scale (Figure 2) started from DG of Food Crops, Association of farmers and Processors/Entrepreuneur meeting and have discussion with IAARD/UNCAPSA. In this discussion the model will be made, there will be wider areas *i.e*. a province. The execution will involve Local technical authorities such as Industry, Trade, Agriculture, farmer, DG Processing and Marketing. If no defect on evaluation will be continued to national level.

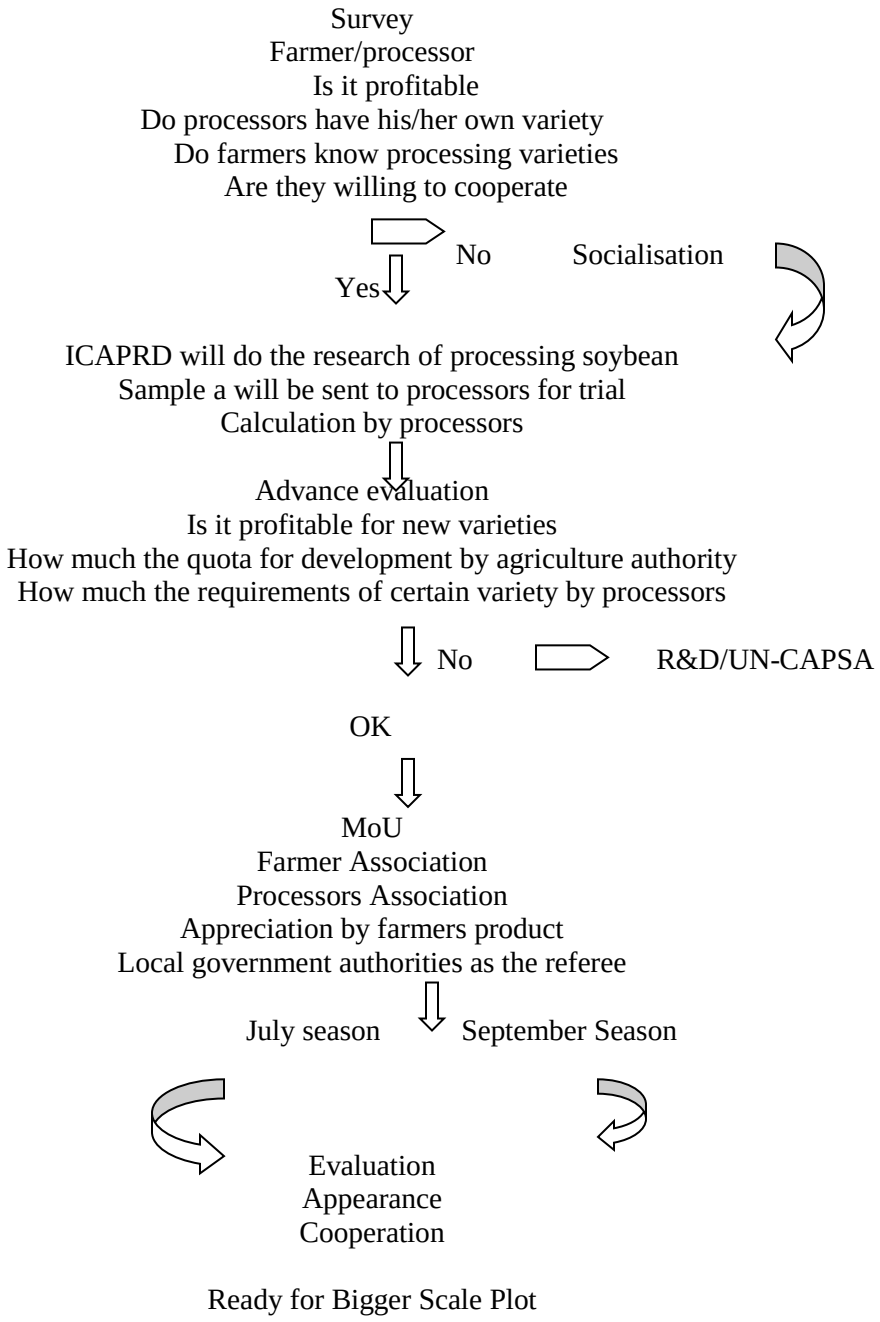


Figure 1 Pilot on Case Study

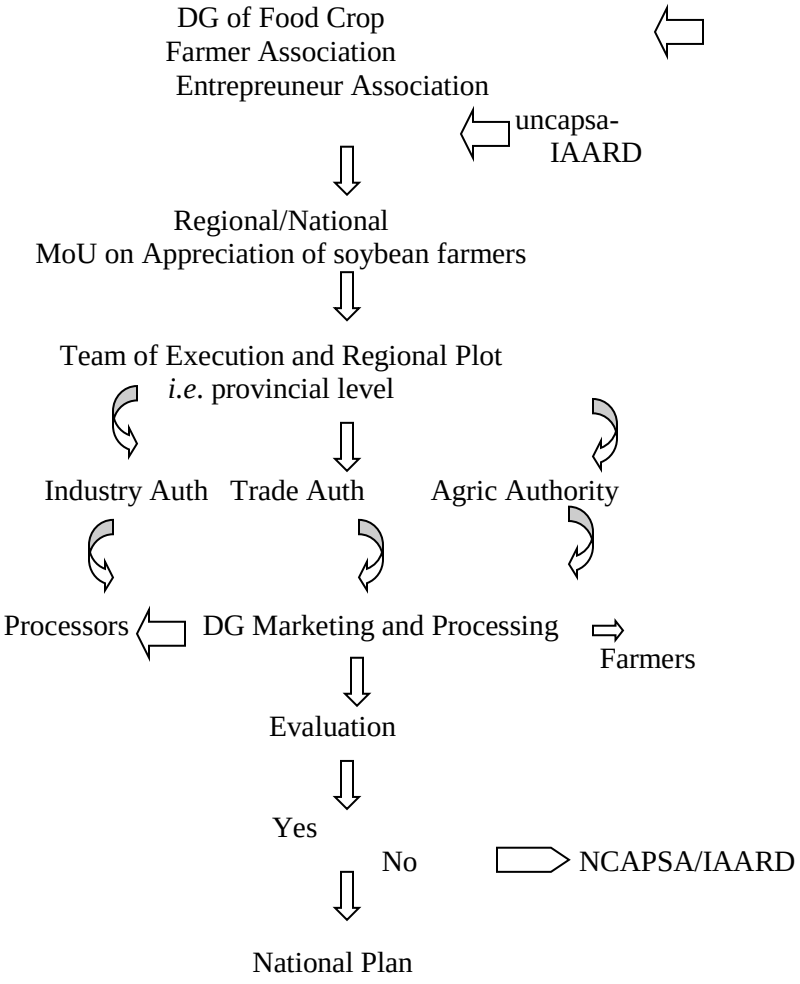


Figure 2 Plot on Wider Areas

The Agriculture Ministry recently plan to introduce the system similar to BULOG (National Logistic) to stabilize the soy bean price with the price should 1.5 times of rice to support the Indonesia to reach of own capability of producing soy bean in 2014 [6]. Is the result of this study still relevan ? Yes it is still relevan, since the biggest demand for imported soybean is production of tahu and tempeh. Wrong varieties can cause of unwillingness of the 'tahu' processor to buy the soybean produced by farmers. Beside, the information flow from farmer to the processor and vice versa has to be maintained to support the decision.

In more developed country such as Scotish where presumably the economic status is stronger than Indonesia, the niche market with concentration on the local market is

continously developed to achieve a sustainable agriculture, thus, in this case is not only involved in economic but also social and enviromental [7]. In Indonesian case the environment has not become an issue yet. The link between farmer to processor in Indonesia is required to be strengthened to achieve the economic gain by exploring the local market i.e. 'tahu' processors or other soybean processed products. At the other publications the small holders in Mexico which has wider land owner than Indonesia, optimise the marketing of their products through collective marketing to have better acess [8].

5 CONCLUSION

1. With the opening of Sari Bumi to 'Jabodetabek' without family close system anymore a 'simple franchise' has been performed even though it has not adopted a100 % of the modern system of franchise. A franchise system can be developed by trade mark registration and formation of a consortium.
2. 'Tahu' business requires strong management marketing, as an evidence is Bungkeng, and Palasari they only have 1 out let, they were build far before SB but their management marketing are weaker than that of SB.
3. 'Tahu' Sumedang can be stored at room temperature for 2 days and at 7 ^{o}C can last for 2 weeks.
4. The coagulator plays the important role in determining the quality of the 'tahu' such as vinegar produce hard 'tahu', calcium sulphate produce silk 'tahu', 'tahu' Sumedang has own characters.
5. Increasing local soybean to supply the 'tahu' industry is still possible but require to understand variety. Coordination of technical authorities such as Agriculture, Industry and Trade (policy on farmer-processors and import) with first is the next step. Variety which produced high yield (protein content) and high quality of 'tahu' are feasible if the cost of production is feasible.
6. There should be a system similar to geographical indication on 'tahu' Sumedang or other local products such as oncom.

References

[1] E.J. Woods, ,2003. "Supply chain management : understanding understanding the concept and its implication in developing countries". In: Johnson, G.I. and P.J. Hofman

Editors), Agri-product supply-chain management in developing countries. Proceedings of workshop held in Bali, Indonesia, ACIAR Proceedings No. 119: 18-26.

[2] Setyadjit, A. Dimyati, E.M. Lokollo, S. Kuntarsih, R.S. Basuki, A.Hidayat, P.J. Hofman, S.N.Ledger, and E.J. Woods, 2003). "Analysis of the contraints to banana industry development in Indonesia using the supply Chaín concept". In: Johnson, G.I. and P.J. Hofman Editors), Agri-product supply-chain management in developing countries. Proceedings of workshop held in Bali, Indonesia, ACIAR Proceedings No. 119: 44-52.

[3] Ichsan, Kusnadi dan Syaifi, 2000. Studi Kelayakan Proyek Bisnis. Universitas Brawijaya, Malang.

[4] B.Sarwono dan Y.P. Saragih, 2003. Membuat Aneka Tahu. Panebar Swadaya, Depok.

[5] Anonymous, (2003), Buku Panduan Hak Kekayaan Intelektual. Dirjen Haki, Departemen Kehakiman dan HAM.

[6] Ismail, E.H., (2010), "HPP Kedelai didorong sampai Rp. 7.500,-." *Republika*, 4 Mei 2010.

[7] Brian Ilbery, Damian Maye, 2005. Food supply chain and sustainability: evidence from specialist food producers in the scotish/english border. Land Use Policy 22 (205): 331-334.

[8] Helen Markelova, Ruth Meinzen-Dick, Jon Hellin, Stephan Dohrn, 2009. Collective action for small holders market acces. Food Policy 34(2009): 1-7.

PENGARUH PENGHANCURAN DAGING BUAH, SUHU PENYIMPANAN TERHADAP MUTU PUREE BUAH SIRSAK BEKU

Setyadjit[1], E. D. Astuty[1] and E. Sukasih[1]
[1] Indonesian Centre for Agriculture Postharvest Research and Development

JL. Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu Agricultura Research Campus, Cimanggu Bogor, 16114, Indonesia, Tlp/Fax : 62 251 8321762

Email : Pascapanen@yahoo.com

ABSTRACT

The experiment was aimed to study the effect method of fruit flesh crushing, storage temperature (cooling, super-cooling) on the final quality of frozen soursop puree. The experiment procedure used crushing methods were (crushing by blender, crushing by blender then filtered, crushing, filter and homogenization; extraction by rubbing method) with two storage methods are (cooling : without liquid nitrogen ; super-cooling : with liquid nitrogen). Eight combination treatments were studied. Experiment was done using Factorial Randomized Design with three replication. The results showed that the best of puree quality was treatment of combination of fruit flesh crushing and homogenization and frozen by liquid nitrogen (super-cooling); the quality of the puree after 4.5 month storage at -29 ^{o}C were sensory of 2.7 score, vitamin C content was 1987.3 mg/100 g, colour was 71.5 and viscosity was 3.8 cp.

***Keywords* :** *Postharvest, Frozen Soursop Puree, Processing*

1 PENDAHULUAN

Buah sirsak (*Annona muricata* L.) dihasilkan sepanjang tahun rasanya asam manis, berbeda dengan sifat buah lainnya yang rasanya manis cocok untuk buah meja seperti jeruk, pisang, mangga yang masa simpannya relatif lama; buah sirsak lebih cocok disajikan dalam bentuk olahan. Selama pematangan buah sirsak karena kulitnya yang tipis dan duri yang mudah patah, serta mudah terlukanya bagian tangkai, sirsak akan mudah terinfeksi, menyebabkan busuk hati, yang dicirikan dengan mencoklatnya empulur dan daging buah yang disebabkan oleh antraknosa [1]. Penyakit lainnya juga sering menyerang buah ini karena Indonesia berada di daerah lembab [2], sehingga hanya tahan 3-5 hari setelah matang pohon pada suhu kamar [3] dan 10 hari pada suhu 5^{0}C [4]. Padahal buah sirsak sangat disukai selain karena warna daging buahnya yang putih bersih seperti kapas juga mengandung gizi yaitu kalsium, fosfor, vitamin C dan aroma yang khas saat mencapai kematangan sempurna pada suhu kamar [5].

Usaha mengantisipasi terbuang percumanya hasil panen yang melimpah, sebelum membusuk buah harus diolah dulu menjadi produk lain yang berguna selain memperpanjang masa simpan juga dapat dinikmati diluar musimnya. Dengan berkembangnya gaya hidup moderen masyarakat dimasa mendatang, selain mengkonsumsi hasil olahan seperti sari buah, jam, dodol juga akan cenderung menggunakan produk beku yang sekarang sudah dipasarkan di super market. Salah satu alternatif adalah pengolahan menjadi "puree" penelitian produk puree telah dilakukan dan disimpan pada suhu dingin, penelitian penyimpanan puree menggunakan nitrogen cair baru diluar negeri [1].

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari cara penghancuran daging buah dan penyimpanan (*cooling*) : tanpa menggunakan nitrogen cair ; supercooling-menggunakan nitrogen cair; terhadap mutu puree buah sirsak beku selama penyimpanan.

2 BAHAN DAN METODE

Bahan

Buah sirsak dengan tingkat kekuatan cukup yaitu berumur 11 minggu [6], dipilih yang mempunyai kulit mulus, tanpa cacat atau luka berwarna hijau kekuningan.

Metode

Penelitian meliputi penelitian pendahuluan dan utama. Penelitian pendahuluan dilakuakn analisis kandungan kimia, meliputi : total asam, vitamin C, total padatan terlarut, kekentalan baik tanpa maupun dengan penambahan vitamin c untuk semua perlakuan. Penelitian utama dilakukan menurut diagram aliran dibawah.

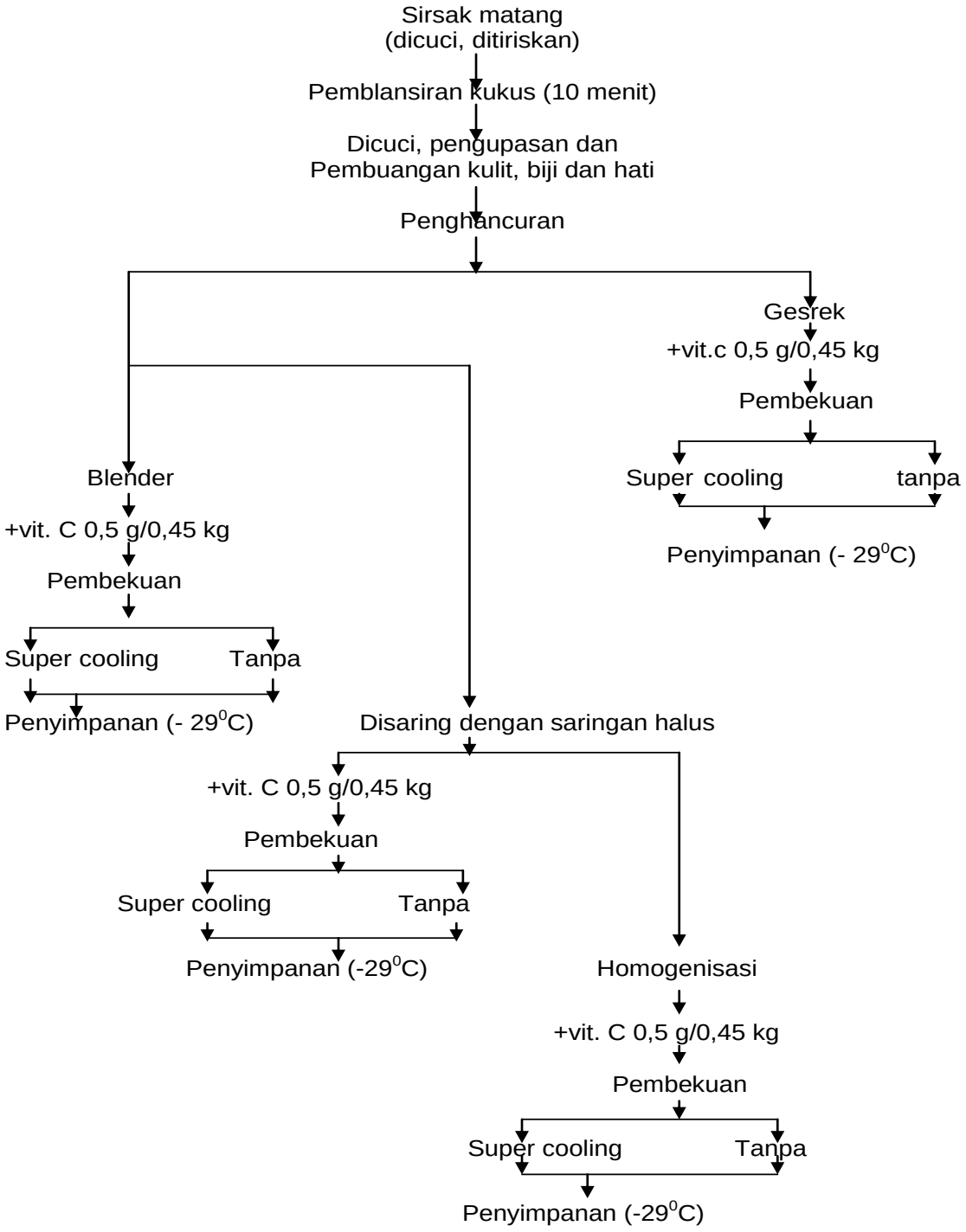
Penyimpanan puree buah sirsak beku selama empat setengah bulan pada suhu beku (-29^{0}C) dengan pengamatan satu setengah bulan sekali, meliputi sebelum *thawing* dan sesudah *thawing*. Sebelum *thawing* dilakukan pengamatan terhadap kandungan kimia dan organoleptik [7, 8]. Parameter kimia meliputi vitamin C (mg/100 g), total asam (%), total padatan terlarut (^{o}Brix), kekentalan (cp) dan warna secara objektif. Sedangkan sesudah thawing meliputi analisis organoleptik yakni penampakan, rasa, aroma dan kesukaan.

Penilaian yang diberikan berdasarkan criteria 1 sampai 6 :

1 = sangat tidak suka	4 = suka
2 = tidak suka	5 = cukup suka
3 = agak suka	6 = sangat suka

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap Faktorial yang terdiri dari dua faktor, yaitu faktor pertama cara hancuran (hancuran dari blender, hancuran dari blender yang disaring, hasil saringan yang dihomogenisasi, hancuran dari ’gesrek’) dan faktor kedua cara penyimpanan : Tanpa (tanpa nitrogen cair, super cooling (dengan nitrogen cair)). Dengan demikian terdapat delapan perlakuan dan setiap perlakuan diulang tiga kali. Delapan perlakuan tersebut adalah :

A1B1 = hancuran dari blender, tanpa pembekuan dengan nitrogen cair
A1B2 = hancuran dari blender, pembekuan dengan nitrogen cair
A2B1 = hancuran dari blender yang disaring, tanpa pembekuan N_2
A2B2 = hancuran dari blender yang disaring, dengan pembekuan
A3B1 = hasil saringan yang dihomogenisasi, tanpa pembekuan N_2
A3B2 = hasil saringan yang dihomogenisasi, dengan pembekuan
A4B1 = hancuran dari ‘gesrek’, tanpa pembekuan N_2
A4B2 = hancuran dari ‘gesrek’ dengan pembekuan



Gambar 1 Diagram aliran pembuatan *puree* buah sirsak beku dan penyimpanan

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penelitian pendahuluan

Hasil analisa kimia dapat dilihat pada Tabel 1. di bawah ini.

Tabel 1 Rata-rata kandungan komponen buah sirsak

Perlakuan	Total Asam	Vitamin C (mg/100 g pulp)	Total padatan terlarut (^{0}Brix)	Kekentalan (cp)
- Blender	0,55	187	16,30	34,60
- Blender + Vit.C	0,56	550	16,60	30,00
- Saringan (Filter)	0,51	143	16,60	4,70
- Saringan + Vit. C (Filter + Vit. C)	0,56	605	16,80	4,60
- Homogenisasi	0,50	132	16,40	4,70
- Homogenisasi + Vit.C	0,54	583	16,50	4,65
- Gesrek	0,50	154	15,20	4,65
- Gesrek + Vit.C	0,51	638	15,40	4,85

Dari Tabel 1. terlihat kisaran nilai tidak jauh, total asam dan total padatan terlarut tidak dipengaruhi oleh cara penyiapan *puree*. Kadar vitamin C dipengaruhi oleh cara penyiapan *puree*, kerusakannya bertambah besar mulai dari pembuatan *puree* dengan blender, hasil blender disaring, hasil saringan dihomogenisasi sedangkan dengan 'gesrek' kerusakan vitamin C tidak besar karena hanya mengalami sekali proses. Kehilangan vitamin C akibat proses gesrek kemungkinan disebabkan peningkatan kontak antara bubur dan oksigen sehingga vitamin C teroksidasi. Apabila dilanjutkan maka oksidasi akan berkelanjutan dan menyebakan warna coklat pada bubur.

Konsistensi sangat kental pada puree yang hanya diblender memiliki kisaran kekentalan antara 30 hingga 34 cP yang disebabkan serat pada sirsak tidak dipisahkan dari bubur. Hal ini didukung oleh hasil peneliti lain yakni adanya perubahan konsistensi suspensi akibat karena perubahan ukuran partikel [9].

3.2 Penelitian Utama

Hasil uji kimia dan organoleptik pada pembuatan *puree* buah sirsak beku adalah sebagai berikut :

Analisis Kimia

Total Asam

Hasil uji statistik dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2 Rata – rata total asam puree buah sirsak beku selama penyimpanan pada suhu -29^{0}C

Perlakuan	Kadar Total Asam			
	Lama Penyimpanan (bulan)			
	0	1,5	3	4,5
A1B1	0,55 a	0,51 a	0,74 c	0,5 a
A1B2	0,56 a	0,49 a	0,87 ab	0,49 a
A2B1	0,58 a	0,57 a	0,81 abc	0,53 a
A2B2	0,55 a	0,47 a	0,79 abc	0,55 a
A3B1	0,51 a	0,51 a	0,80 abc	0,56 a
A3B2	0,58 a	0,52 a	0,86 abc	0,52 a
A4B1	0,53 a	0,55 a	0,78 bc	0,51 a
A4B2	0,58 a	0,55 a	0,91 a	0,50 a

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukan ada perbedaan yang nyata pada taraf uji DMRT 5%

Hasil uji statistik menunjukan lama penyimpanan berpengaruh nyata terhadap total asam. Setelah penyimpanan 1,5 bulan total asam menurun, 3 bulan meningkat dan 4,5 bulan menurun lagi. Menurut [10], penurunan disebabkan oleh penguraian asam-asam organik menjadi berbagai senyawa volatil. Sedangkan kenaikan disebabkan oleh pembentukan asam-asam organik.

Vitamin C

Hasil uji statistik dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Rata – rata vitamin C puree buah sirsak beku selama penyimpanan pada suhu -29^{0}C

Perlakuan	Kadar Vitamin C			
	Lama Penyimpanan (bulan)			
	0	1,5	3	4,5
A1B1	674,67 bc	462,00 a	916,67 a	1946,67 ab
A1B2	663,67 c	440,00 a	594,00 ab	1481,33 ab
A2B1	748,00 abc	440,00 a	660,00 ab	1760,00 ab
A2B2	663,67 c	431,93 a	616,00 ab	1642,67 ab
A3B1	597,67 c	432,67 a	469,33 b	1261,33 b
A3B2	616,00 c	469,33 a	572,00 ab	1987,33 ab
A4B1	891,00 a	557,33 a	990,00 a	2566,67 ab
A4B2	842,67 ab	528,00 a	990,00 a	2288,00 ab

Keterangan : Angka Yang diikuti dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukan ada perbedaan yang nyata pada taraf uji DMRT 5%.

Hasil uji statistik menunjukan bahwa baik lama penyimpanan maupun cara penyiapan *puree* berpengaruh nyata terhadap kandungan vitamin C setelah penyimpanan 1,5 bulan, vitamin C menurun dan setelah 3 dan 4,5 bulan penyimpanan meningkat lagi. Peningkatan vitamin C pada akhir penyimpanan terjadi sangat drastis bahkan nilainya hingga 2 kali lipat. Hal ini mungkin disebabkan oleh mulai terjadinya pengurangan air akibat puree beku yang tidak dikemas secara rapat. Pengemasan secara rapat akan mengurangi kehilangan sperti kehilangan air selama penyimpanan [11]. Dari kandungan vitamin C tidak dapat dibedakan kandungan vitamin C terbaik.

Menurut [9] penurunan vitamin C berlangsung sepanjang pelaksanaan pengolahan, dan pembuatan minuman seluruh buah [12], misalnya pencucian, blansir, pemotongan dan penggilingan, juga selama pembuatan puree, karena kontak antara jaringan dengan udara yang terjadi oksidasi sehingga vitamin C turun [4]. Sedangkan peningkatan vitamin C disebabkan oleh kondisi pembekuan terjadi peningkatan konsentrasi komponen yang terdapat dalam bahan makanan.

Total Padatan Terlarut

Hasil uji statistik dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4 Rata-rata total padatan terlarut *puree* buah sirsak beku selama penyimpanan pada suhu -29^{0}C

Perlakuan	Kadar Total padat Terlarut (^{0}Brix)			
	Lama Penyimpanan (bulan)			
	0	1,5	3	4,5
A1B1	14,36 abc	14,93 a	15,43 a	15,23 a
A1B2	14,17 abc	14,46 a	15,17 ab	15,17 a
A2B1	14,20 abc	15,33 a	15,33 a	15,13 a
A2B2	14,10 bc	15,24 a	15,37 a	15,37 a
A3B1	14,77 a	15,35 a	14,77 b	14,77 a
A3B2	14,03 c	15,47 a	14,77 b	14,73 a
A4B1	14,77 a	15,23 a	15,33 a	15,23 a
A4B2	14,73 ab	14,89 a	14,77 ab	14,93 a

Keternagan : Angka yang diikuti dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukan ada taraf uji DMRT 5%.

Hasil uji statistik menunjukan bahwa lama penyimpanan berpengaruh nyata terhadap total padatan terlarut. Selama penyimpanan 4,5 bulan, total padatan terlarut meningkat. Menurut [10], peningkatan disebabkan karena reaksi kimia yaitu pemutusan rantai panjang

karbohidrat menjadi senyawa gula yang larut dan degradasi senyawa pektin dari dinding sel menjadi pektin serta pektinase yang larut juga.

Warna Secara Objektif

Warna dinyatakan dengan derajat kecerahan (L). Hasil uji statistik dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5 Rata-rata warna puree buah sirsak beku selama penyimpanan pada suhu -29^{0}C.

Perlakuan	Nilai Warna			
	Lama Penyimpanan (bulan)			
	0	1,5	3	4,5
A1B1	76,56 b	38,37 a	73,60 b	66,93 e
A1B2	96,15 a	32,85 b	73,57 b	68,28 cd
A2B1	94,87 a	38,96 a	74,54 ab	68,53 c
A2B2	67,58 c	37,27 ab	72,17 c	68,91 bc
A3B1	95,45 a	38,29 a	72,83 c	70,29 ab
A3B2	76,06 b	37,07 ab	71,62 c	71,54 a
A4B1	68,49 c	32,87 b	71,47 c	68,07 cd
A4B2	94,96 a	38,29 a	68,00 d	64,93 e

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukan ada perbedaan yang nyata pada taraf uji DMRT 5%.

Hasil uji statistik menunjukan bahwa semua cara pembuatan puree, cara pembekuan dan lama penyimpanan serta interaksi antara ketiga perlakuan tersebut berpengaruh nyata terhadap warna puree. Setelah penyimpanan 1,5 bulan penyimpanan nilai warna menurun, sedangkan pada 3 dan 4,5 bulan penyimpanan meningkat. Penurunan disebabkan oleh *freezerburn* (perubahan warna, tekstur, citarasa dan nilai gizi bahan pangan beku), terjadi bila tidak ada keseimbangan antara tekanan uap air dalam ruang penyimpanan beku dengan bahan pangan beku. Freezerburn dapat dicegah dengan melindungi bahan dengan kemasan supaya tidak terjadi kehilangan air secara tetap.

Kenaikan nilai warna disebabkan reaksi pencoklatan non enzimatik dan enzimatik. Reaksi non enzimatik disebabkan adanya vitamin C yang merupakan senyawa reduktor dan bertindak sebagai prekursor. Reaksi enzimatik terjadi karena adanya substrat dan oksigen sehingga terbentuk quinon yang berwarna coklat [4]. Pada pembuatan puree pencoklatan terjadi karena degredasi dalam jaringan bahan, baik selama persiapan sampel maupun pembekuan, serta setelah thawing (pencairan). Pengendalian enzim yang termudah untuk

mencegah pencoklatan adalah penyimpanan beku, pemanasan singkat (blansir), sebelum pembekuan.

Kekentalan

Hasil uji statistik dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6 Rata-rata kekentalan puree buah sirsak beku selama penyimpanan pada suhu -29^{0}C.

Perlakuan	Kadar Kekentalan			
	Lama Penyimpanan (bulan)			
	0	1,5	3	4,5
A1B1	24,83 a	16,97 b	16,03 a	13,78 a
A1B2	24,46 b	18,73 a	18,03 a	13,70 a
A2B1	4,72 c	4,23 d	4,90 b	3,18 e
A2B2	4,75 c	7,17 c	4,85 b	4,53 b
A3B1	6,05 c	4,43 d	4,43 b	3,57 d
A3B2	4,06 c	7,07 c	5,30 b	3,77 cd
A4B1	5,03 c	4,40 d	4,03 b	3,85 c
A4B2	6,39 c	7,23 c	5,48 b	4,60 b

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukan ada perbedaan yang nyata pada taraf uji DMRT 5%

Hasil uji statistik menunjukan cara pembuatan puree, lama penyimpanan, interaksinya keduanya berpengaruh nyata terhadap kekentalan. Cara pembuatan puree baik dengan saringan, homogenisasi maupun gesrek tidak berpengaruh nyata, sedangkan dengan blender berpengaruh nyata terhadap kekentalan. Pada 3 dan 4,5 bulanpenyimpanan kekentalan menurun untuk perlakuan blender, saringan, homogenisasi dan gesrek, kecuali pada perlakuan blender terjadi pada 4,5 bulan penyimpanan. Penurunan disebabkan pada saat terjadi dehidrasi dari material sel selama penggilingan dan ukuran partikel suspensinya semakin besar sehingga dispersi suspensi bahannya jadi tidak baik. Sedangkan kestabilan kekentalan erat hubungannya antara ukuran partikel dalam suspensi dengan daya dispersi serta terjadi drip (pengeluaran cairan dari sel-sel). Ukuran partikel yang lebih kecil mempunyai dispersi partikel suspensi yang lebih baik dari pada partikel yang besar sehingga konsistensinya lebih baik. Kenaikan disebabkan pada dehidrasi material sel selama penggilingan dan ukuran partikel sel kecil, dispersi bahan baik, sehingga pada pembekuan cepat dan suhu konstan selama penyimpanan akan terbentuk kristal es yang lebih kecil yang tidak melukai sel dan waktu dithawing dapat kembali seperti aslinya .

Uji Organoleptik

Penampakan

Hasil uji statistik dapat dilihat pada Tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7 Rata-rata skor penampakan puree buah sirsak beku selama penyimpanan pada suhu -29^{0}C.

Perlakuan	Penampakan			
	Lama Penyimpanan (bulan)			
	0	1,5	3	4,5
A1B1	2,2 a	2,6 a	1,8 a	1,5 ab
A1B2	2,4 a	3,4 a	2,0 a	2,6 ab
A2B1	3,4 a	2,7 a	1,6 a	1,0 a
A2B2	3,0 a	2,5 a	1,7 a	1,8 ab
A3B1	3,1 a	3,2 a	1,8 a	1,0 a
A3B2	3,5 a	3,4 a	2,7 a	1,0 a
A4B1	2,4 a	1,9 a	1,8 a	1,0 a
A4B2	3,0 a	1,9 a	2,5 a	1,5 ab

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukan ada perbedan yang nyata pada taraf uji DMRT 5%.

Hasil uji statistik menunjukan baik cara pembentan maupun semua interaksi perlakuan dengan lama penyimpanan berpengaruh nyata terhadap penampakan puree. Adanya 4 cara pembuatan akan mempengaruhi partikel puree yang dihasilkan sehingga juga mempengaruhi penampakan. Urutan ukuran partikel yang dihasilkan mulai dari yang besar sampai yang kecil yaitu hancuran blender, gesrek, hasil blender yang disaring dan hasil saringan yang dihomogenisasi. Semakin kecil ukuran partikel, semakin stabil konsistensinya sehingga penampakannya lebih baik. Nilai kesukaan rata-rata panelis terhadap penampakan puree yang disajikan selama penyimpanan 4,5 bulan berkisar antara 1,0 sampai 3,4 masuk dalam kriteria tidak suka sampai agak suka.

Rasa

Hasil uji statistik terhadap rasa menunjukan nilai tidak berbeda nyata untuk semua perlakuan selama 3 bulan penyimpanan. Nilainya berkisar antara 1,6 - 3,5(tidak suka - agak suka).

Setelah 4,5 bulan penyimpanan ada perbedaan penilaian panelis terhadap perlakuan (A1B2; A4B2) dengan yang lainnya. Kisaran nilai antara (1,6; 1,7) dengan (1-1,5) atau (tidak suka – sangat tidak suka).

Aroma

Aroma yang antara lain dibentuk oleh 114 volatil termasuk 44 ester 25 terpene, 10 alkohol, 9 aldehid dan keton, 7 kompound aromatic, 5 hidrokarbon, 3 asam, 3 laktone, dan 8 tak dikenal. Ester yang dominan adalah methyl (E)-2-hexenoate, methyl(E)-2-butenoate, methyl butanoate, dan methyl hexanoate dan merupakan 4 pembentuk komponen utama flavor sirsak. Penelitian tentang aroma ini berkembang terus antara lain penggunaan HS-SPME yang dilanjutkan dengan GC-MS ternyata menghasilkan 21 volatil diantaranya 12 ester [12].Kelihatannya memang lebih sedikit jumlahnya namun cara yang kedua ini lebih cepat dan lebih mudah karena hanya menganalis *head space*. Metode ini dikembangkan lebih lanjut dengan GC-GC-TOFMS lebih banyak kompound vilatil yang ditemukan yakni 37 yang berupa 21 ester, 6 alkohol, 3 terpene, 2 asam, 2 ketone, 2 aldehid [12]

Hasil aroma secara organoleptik menunjukan nilai tidak berbeda nyata untuk semua perlakuan selama penyimpanan, nilainya berkisar antara 1,1 – 3,3 atau kriteria sangat tidak suka – agak suka.

Kesukaan

Hasil uji statistik menunjukan nilai tidak berbeda nyata untuk semua perlakuan selama penyimpanan. Nilainya berkisar antara 1 – 3,2 atau kriteria sangat suka – agak suka. Penilaian tidak suka rata-rata untuk setiap perlakuan setelah 4,5 bulan penyimpanan.

3.3. Diskusi Umum

Melihat lebih dalam pada puree sirsak yang memiliki nilai gizi tinggi akan menjadi media yang untuk berkembang biaknya mikroba. Penurunan kualitas puree buah diakibatkan oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal utamanya adalah terjadinya pencoklatan serta pengendapan dari *cloud*. Secara internal penyebab pengendapan adalah enzim pektin esterase [13], dimana pektin esterase diklasifikasikan menjadi tipe 1 dan tipe 2 berdasarkan ketahanan terhadap panas. Pada pH 7,5 tipe 1 tidak dipengaruhi oleh suhu bahkan sampi 50 oC, tetapi pada suhu 60 oC mengalami penurunan 20% sedangkan pada 75oC tidak terdeteksi lagi. Sedangkan tipe 2 terjadi penurunan secara bertahap hingga suhu 50 oC, dan pada suhu 55 oC penurunannya terjadi sangat tajam. PE 1 lebih tahan panas dibandingkan pada PE2. Perhitungan nilai D dan Z pada rentang 45-75 ^{o}C, pada suhu 65oC untuk PE tipe 1 adalah 5,8 menit sedangkan untuk PE tipe 2 adalah 3,3 menit. Kerusakan eksternal disebabkan oleh ragi

dan jamur penyebab kerusakan [11], namun juga tidak tertutup kemungkinan terjadinya kintaminasi dari luar seprti oleh E. Coli yang terkenal sebagai indikator kurangnya penerapan sanitasi [11].

Untuk itu telah direkomendasikan penggunaan pasteurisasi, yaki pemansan singkat suhu 79 ^{o}C, selama 69 detik. Dengan pasteurisasi seperti ini yang dikombinasikan dengan pengemasan, dan berbagai suhu penyimpanan hingga -20 ^{o}C, bisa mempertahankan sifat sensoris dan flavor puree sirsak [14]. Bahkan baik enzim pektin esterase, maupun mikroba perusak puree sirsak bisa dikontrol dengan perlakuan pasteurisasi yang kemudian dilanjutkan dengan pentimpanan berbagai suhu tersebut [11].

Pada perlakuan yang dicoba pada percobaan ini dengan menggunakan perlakuan blansir, dengan berbagai cara ekstraksi yang diberikan proteksi anti oksidan yakni vitamin C, perlakuan pencelupan dengan nitrogen cair, yang diikuti dengan penyimpanan suhu -29 ^{o}C; dengan penyimpanan yang lebih lama yakni 4,5 bulan dibandingkan yang dilakukan [11, 14]. Ternyata pemberian nitrogen cair tidak efektip dalam percobaan ini, mungkin akibat proteksi yang diberikan oleh anti oksidan Vitamin C telah mencukupi dalam memproteksi berbagai perlakuan ekstraksi yang ada. Perlakuan nitrogen cair efektip pada sifat sensori yakni penampakan puree, dimana pemberian nitrogen cair memberikan efek yang nyata. Keberadaan serat pangan yang ada pada sirsak yang mungkin dapat memproteksi puree sirsak tanpa pengemasan tertutup ini, dan memberikan pengaruh yang sangat positip ini. Selanjutnya untuk penanganan skala besar, bisa melihat sifat *rheology* lebih jauh, termasuk di dalam saluran-saluran yang sangat berguna untuk mendisain pengolahan skala besar telah banyak dibahas oleh [15], walaupun sayangnya pada penelitian ini tidak menggunakan standar produk puree sirsak secara komersial yakni 16 ^{o}Brix.

Sedangkan untuk jenis perlakuan ekstraksi yang lain nampaknya bila telah digunakan anti oksidan Vit C sebagai protektor, telah mencukupi untuk memproteksi puree sirsak selama proses, tanpa diperlukan nitrogen cair lagi. Sayangnya, residu Vit. Cnya masih terlalu tinggi. Direkomendasikan dengan penggunaan panas terbatas untuk mengurangi vit C bahkan menghilangkan sama sekali, karena biaya proses penggunaan vitamin C, akan menyebabkan penambahan biaya produksi yang cukup signifikan.

4 KESIMPULAN

Perlakuan terbaik adalah kombinasi antara penghancuran daging buah dengan blender dan pembekuan pendahuluan menggunakan nitrogen cair (super cooling). Setelah 4,5 bulan penyimpanan -29 ^{o}C, penampakan 2,6 (agak suka), kandungan vitamin C 1987,33 mg/100 g bahan, penilaian warna secara objektif (71,54) dan kekentalan (3,77). Kecuali penampakan secara organoleptik parameter lain tidak menunjukkan hal yang berbeda antara perlakuan yang terpilih dengan perlakuan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Bueso, C. E. 1980. Soursop Tamarind and Chironja. Di dalam S. Nagy and P. E Shaw (Eds). Tropical and Subtropical Fruit, Composition Properties and Uses. AVI Publishing Inc. Wesport, Connecticut. 31p.

[2] Sulusi Prabawati, Yulianingsih, Setyadjit dan Tisnawati. 1996. Identifikasi Penyakit Pascapanen Buah Sirsak dan Cara Penanggulangannya. J. Hort 6 (1) : 87-94

[3] Setyadjit, Wisnu Broto dan Dondy ASB. 1992. Penentuan Tingkat Ketuaan Panen Buah Sirsak. J. Hort 2 (4) : 66-73.

[4] Winarno, F. G. 1984. Kimia Pangan dan Gizi. PT. Gramedia Jakarta

[5] Paull, R. E. 1982. Postharvest Variation in Composition Soursop (*Annona muricata* L.) Fruit in Relation to Respiration and Ethylene Production. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107(4) : 582-585.

[6] Wisnu Broto, Setyadjit dan Dondy ASB. 1987. Penentuan Umur Petik Buah Sirsak dan Kajian Mutu Pascapanennya. J. Hort 7 (3) : 829-838

[7] AOAC.1971. Official Methods of Analysis of The Assosiation of Official Agricultural Chemist. Washington.

[8] Setyadjit, Suyanti, Sjaifullah dan Suliantari, 1994. Pengaruh Jenis Bahan Pengisi dan Penambahan Natrium Bisulfit Terhadap Mutu Tepung Sari Buah Sirsak. Penelitian Horikultura vol 6 No. 1.

[9] Desrosier, N. W. 1988. Teknologi Pengawetan Pangan (3rd ed.). AVI Publishing Company, Inc, Wesport, Connecticut

[10] Tien, R.M. 1983. Penyimpanan Beku Daging Buah Nangka. Skripsi Fateta IPB. Bogor.

[11] A.Umme, Y Salmah, B. Jamilah, and B.A. Asbi, Microbial and enzymatic changes in natural soursop puree during storage. Food Chemistry 65(1999) 315-322.

[12] Luh, B. S. 1980. Nectar, Pulpy Juices and Fruit Juices Blends. Didalam P.E Belson dan D.K Tressler (eds.). Fruit and Vegetables Juice Processing Technology (3rd ed). AVI Publishing Company Inc, Wesport Connecticut.

[13] S.M. Arbaisah, B.A. Asbi, A.H. Junainah, B. Jamilah, and J.F.Kennedy, 1997. Soursop pectinesterases : thermostability and effect on cloud stability of soursop juice. Carbohydrate polymers 34(1997) 177-182.

[14] A.Umme, S.S. Bambang, Y. Salmah, and B. Jamilah, Effet of pasteurization on sensory quality of natural soursop puree under different storage conditions. Food Chemistry 75 (2001) 293-302.

[15] A.C.A. Gratao, V. Silveira, J. Telis-Romero, 2007. Laminar flow of soursop juice through concentric annuli: Friction factor and rheology. Journal of Food Engineering 78(2007) 1343-1354.

VARIASI TANAMAN DI LAHAN PERTANIAN DALAM UPAYA INTENSIFIKASI PERTANIAN : STUDI KASUS DI DUA DESA KECAMAMATAN JENGGAWAH, JEMBER

Nurul Sumiasri
Pusat Penelitian Bioteknologi - LIPI
Jl. Raya Bogor, Km 46 Cibinong 16911 Tlp. 021. 8754587. Fax. 021.8774588
HP 082143983109 E-mail : nurulsumi@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian variasi tanaman di lahan pertanian dalam upaya intensifikasi pertanian telah dilakuan. di desa Jenggawah dan Kemuningsari Kidul, kecamatan Jenggawah, Jember pada Februari-Maret 2011.Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui jenis lahan pertanian, jumlah tanaman yang ditanam di lahan pertanian, intensifikasi pertanian yang dilakukan, dan sistem pertanian. Keadaan desa tersebut dalam sektor pertanian sudah dapat dikatakan maju, dan sudah mengarah ke agroindustri. Metode yang digunakan adalah survei. Pengambilan sampel secara acak terhadap KK (kepala keluarga petani). Setiap desa diwakili oleh 10 KK. Data primer dikoleksi secara pengamatan langsung di lapangan, sedang data sekunder dikoleksi secara studi pustaka dan orientasi internet. Analisis data dilakukan secara D&D method. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 3 jenis lahan pertanian yaitu pekarangan, ladang dan sawah irigasi, Terdapat 69 jenis tanaman yang ditanam pada lahan pertanian tersebut. Untuk tanaman tebu, tembakau, sengon telah dikembangkan secara lebih intensif karena mempunyai nilai ekonomi. Pola tanam yang dijumpai adalah monokultur, tumpang sari dan campuran, dan rotasi tanaman telah dijumpai pula**.**

Kata kunci : Variasi, lahan, intensikasi, pertanian, Jenggawah.

1 PENDAHULUAN

Kecamatan Jenggawah adalah salah satu kecamatan di kota Jember, letaknya sejauh 12 km dari ibu kota kabupaten Jember. Kecamatan tersebut terdiri dari 8 desa yaitu desa Jenggawah, Wonojati, Cangkring, Seruni, Mangaran, Kertonegoro, Kemuningsari Kidul dan Jatisari [1]. Sedang Kabupaten Jember memiliki bata-batas, sebelah utara berbatasan dengan Kab Probolinggo dan Kab. Bondowoso, sebelah selatan berbatasan dengan Samodera Hindia, sebelah timur berbatasan dengan Kab Banyuwangi dan sebelah barat berbatasan dengan Kab. Lumajang [1].

Desa Jenggawah dan Kemuningsari Kidul, dipilih sebagai desa penelitian karena desa ini dalam sektor pertaniannya lebih mudah menerima inovasi teknologi baru sehingga diharapkan dapat menularkan inovasi teknologi tersebut kedesa desa lainnya. Kedua desa

tersebut tanahnya relatif subur dan mendapatkan air irigasi sepanjang tahun sehingga petani dapat mengairi sawahnya sepanjang masa dan lebih leluasa berbudidaya tanaman. Oleh karena itu di desa tersebut terdapat sistem rotasi tanaman atau perglirian tanaman .

Di dua desa tersebut hidup dua suku bangsa yaitu suku Madura dan Jawa yang mana kedua suku tersebut sudah membaur dan hidup secara berdampingan menjadi satu. Hanya saja persentase suku Jawa lebih tinggi dibandingkan dengan suku Madura.

Secara fisik desa Jenggawah mempunyai jenis tanah tanah aluvial [2], pHnya 6,2, tinggi tempat dari permukaan laut 50 meter, kadar lengasnya 80%. Tanahnya kaya akan unsur P dan K dan peka terhadap erosi serta miskin akan unsur N [3]. Sedangkan desa Kemuningsari Kidul tidak jauh berbeda yaitu, jenis tanahnya adalah aluvial juga [2], pH 6.8, tinggi tempat dari permukaan laut 57 meter. Dan kadar lengasnya adalah 89%. Jadi secara fisik tidak jauh berbeda.

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui jenis-jenis lahan pertanian yang ada di desa tersebut, tanaman yang di budidayakan di lahan pertaniannya untuk menunjang kehidupan petani sehari-hari , serta bagaimana cara membudidayakan tanaman tersebut (sistem pertanian dan pola tanamnya). Harapan penulis , data yang dihasilkan dapat dipakai sebagai masukan untuk lebih mengembangkan desa tersebut pada khususnya dan desa yang lain pada umumnya .

2 METODOLOGI

Penelitian dilakukan di 2 (dua) desa di Kecamatan Jenggawah, Jember , yaitu di desa Jenggawah dan desa Kemuningsari Kidul, pada bulan Januari sampai dengan Februari 2011. Metode penelitian yang digunakan adalah survei. Pengambilan data dilakukan secara acak , tiap desa diambil responden sebanyak 10 KK (Kepala Keluarga) dan KK dianggap sebagai responden. Data primer dikumpulkan secara pengamatan langsung di lapangan dan wawancara dengan KK. Sedangkan data sekundair dikumpulkan dengan penelusuran pustaka dan orientasi internet. Analisis data dilakukan secara D&D method [4].

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Lahan Pertanian

Lahan pertanian yang diusahakan oleh petani terdiri dari: pekarangan, sawah irigasi dan tegalan (gambar 1). Program Diversifikasi Pangan dan Gizi memberikan batasan tentang

lahan pekarangan yaitu sebagai sebidang lahan darat baik berupa lahan kering maupun lahan basah yang jelas batas-batasnya dan terletak di lingkungan pemukiman, yang dapat dimanfaatkan untuk budidaya tanaman pangan, peternakan, dan perikanan guna meningkatkan gizi keluarga [5]. Sedangkan Lakitan (1994) mengemukakan bahwa lahan pekarangan adalah lahan yang memiliki ciri: (i) Berada di sekitar rumah yang dihuni secara permanen, (ii) Memiliki hubungan fungsional dengan rumah tinggal yang bersangkutan, dan (iii) Memiliki batas yang jelas berupa pembatasan fisik (pagar), batas pengelolaan, atau batas pemilikan. Berdasarkan hal-hal tersebut maka dalam pekarangan dibudidayakan bermacam-macam komoditas. Pada pekarangan-pekarangan yang luasnya sempit mereka berbudidaya tanaman buah-buahannya dalam pot (tabulampot-) (gambar 1.B)

A

B

Gambar 1 Contoh jenis lahan pertanian: (A) Lahan sawah yang ditanami padi, (B) Lahan pekarangan yang sempit, ditanami tanaman buah-buahan dalam pot (tabulampot)

Sedangkan sawah adalah lahan pertanian basah yang biasanya ditanami padi dan palawija dan apabila di musim kering sawah irigasi mendapat air irigasi [6]. Sawah adalah lahan pertanian yang berkembang sudah lama (sejak berabad-abad di pulau Jawa dan Bali), yang mengandalkan sumber airnya dari pegunungan melalui sistem irigasi dan air mengalir karena gaya grafitasi. Di daerah yang datar pengaliran air ada kalanya dibantu dengan pompa air [7].

Tegalan adalah lahan kering dan letaknya biasanya jauh dari pemukiman [6]. Komponen tumbuhannya terdiri atas tanaman pangan semusim dan bertahunan serta pohon untuk bangunan yang ditanam baik secara monokultur maupun secara campuran (*mixed cropping*) [7].

3.2 Jenis tanaman penyusun lahan pertanian

Terdapat berbagai tanaman penyusun lahan pertanian tetapi pada umumnya tanaman yang dikembangkan adalah tanaman yang mempunyai nilai ekonomi. Hal ini sesuai dengan pendapat yang menyatakan bahwa jenis tanaman yang dikembangkan dalam pertanian adalah jenis tanaman hortikultura (sayur-sayuran dan buah-buahan) dan tanaman pangan yang lain (padi, jagung, kedelai, ubikayu, ubi jalar, kacang tanah dan kacang hijau) [8]. Tabel 1 menyatakan variasi jenis tanaman yang terdapat pada lahan pertanian di kedua desa yang diteliti.

Tabel 1 Variasi jenis tanaman yang terdapat di desa Jenggawah dan Kemuningsari Kidul.

No.	Nama Lokal	Nama Ilmiah	Jenis Lahan			Pemanfaatan Tanaman
			Pkrng	Sawah	Tgln	
1*	Padi	*Oryza sativa*	-	X	-	Pangan
2*	Mangga	*Mangifera indica*	X	X	X	Buah-buahan
3*	Manggis	*Garcinia mangostana*	X	-	X	Buah-buahan
4*	Kacang panjang	*Vigna chinensis*	X	X	-	Sayur-sayuran
5*	Cabe kecil	*Capsicum fructecens*	X	X	-	Sayur-sayuran
6*	Langsep	*Lancium domesticum*	X	-	X	Buah-buahan
7*	Durian	*Durio zibethinus*	X	-	X	Buah-buahan
8*	Bayam	*Amaranthus spinosus*	X	X	X	Sayur-sayuran
9*	Terung	*Solanum melongena*	X	X	X	Sayur-sayuran
10	Rambutan*	*Nephelium lappaceum*	X	-	X	Buah-buahan
11*	Kueni	*Mangifera odorata*	X	-	X	Buah-buahan
12*	Tomat	*Solanum lycapersicum*	X	X	-	Sayur-sayuran
13*	Jagung	*Zea mays*	-	X	X	Pangan
14*	Tembakau	*Nicotiana tobacum*	-	X	-	Industri
15*	Pinang	*Areca catechu*	X	-	X	Industri
16	Mawar	*Rosa chinensis*	X	-	-	Tan. Hias
17*	Nongko londo	*Anona muricata*	X	-	X	Buah-buhan
19*	Sawo manilo	*Manilkara achras*	-	-	X	Buah-buahan
20	Bugenvil	*Bougainviela spectabilis*	X	-	-	Tan. Hias
21	Kantil	*Michelia alba*	X	-	X	Tan hias/ritual
22	Kapuk	*Ceiba pentandra*	X	-	X	Tan.industri
23	Melati	*Jasminum sambax*	X	-	-	Tan. Hias

24*	Kenitu	*Chrysophillum cainoto*	X	-	X	Buah-buahan
25*	Ketela pohon	*Manihot esculenta*	X	-	X	Pangan
26*	Ubi jalar	*Ipomoea batatas*	X	-	-	Pangan
27	Bambu betung	*Dendrocla-mus asper*	X	-	X	Bahan bangunan
28	Bambu bali	*Schizostachy-um brachycladum*	X	-	-	Tan. Hias
29	Bambu duri	*Bambusa blumeana*	X	-	-	Tan. Bahan bangunan
30	Bambu hitam	*Gigantochloa atroviolacea*	X	-	X	Bahan bangunan, perabot
31	Bambu kuning	*Bambusa vulgaris*	X	-	-	Tan.hias
32	Bambu jawa	*Bambusa glaucescens*	X	-	X	Bahan bangunan
33	Bambu tali	*Gigantochloa apus*	X	-	X	Bahan bangunan
34*	Kacang brol	*Arachys hipogaea*	X	X	-	Pangan
35*	Kaca piring	*Gardenia angusta*	X	-	-	Tan. Hias
36*	Beluntas	*Pluchea indica*	X	-	-	Tan hias
37	Asem	*Tamarindus indica*	X	-	X	Tan obat/ bumbu
38*	Apukat	*Persea americana*	X	-	X	Buah-buahan
39*	Nanas	*Ananas comosus*	X	-	X	Buah-buahan
40*	Andong	*Cordiline fruticosa*	X	X (pematang)	-	Tan. hias
41	Kopi arabika	*Coffea arabica*	X	-	X	Tan. Industri
42	Bakung	*Crinum asiaticum*	X	-	-	Tan hias
43	Bunga matahari	*Helianthus anuus*	X	-	-	Tan hias
44*	Jeruk besar	*Citrus maxima*	X	-	-	Buah-buahan
45	Jeruk nipis	*Citrus aurantifolia*	X	-	-	Obat-obatan.
46	Laos	*Lactusa indica*	X	-	-	Tan obat/ bumbu
47	Lamtoro	*Leucaena glauca*	X	-	X	Kayu bakar
48*	Jambu klutuk	*Psidium guajava*	X	-	-	Buah-buahan
49*	Juwet	*Eugenia cumini*	X	-	-	Buah-buahan/ industri
50	Kelapa	*Cocos nucifera*	X	-	X	Tan indutri
51*	Pisang	*Musa paradisiaca*	X	-	X	Buah-buahan
52*	Jambu darsono	*Eugenia malaccensis*	X	-	-	Buah-buahan
53	Semboja	*Plumeria acuminata*	X	-	X	Tan hias/ ritual
54	Kangkung	*Ipomoea aquatica*	X	X	-	Sayur-sayuran
55	Kecubung	*Datura metel*	X	-	-	Obat-obatan
56	Jarak pagar	*Jatropha curcas*	X	-	X	Obat-obatan/ energi
57	Waru laut	*Hibiscus teleaceus*	X	-	-	Kayu bakar
58	Worawaribang	*Hibiscus rosa chinensis*	X	-	-	Tan hias

59*	Durian	*Durio zibethinus*	X	-	X	Buah-buahan
60*	Brambang	*Alium sativum*	X	X	-	Tan bumbu
61*	Kenikir	*Cosmos caudatus*	X	-	-	Sayur-sayuran
62*	Kedelai	*Glycine max*	X	X	-	Tan Pangan
63*	Mentimun	*Curcumis sativus*	X	X	-	Sayur-sayuran
64	Kacang hijau	*Vigna radiata*	-	X	-	Tan. Pangan
65	Belimbing wuluh	*Averhoa bilimbi*	X	-	-	Tanaman obat-obatan
66	Kedondong	*Spondias dulcis*	X	-	X	Buah-buahan
67	Sengon	*Paraseria thes falcataria*	X	X (pema tang)	X	Bahan bangunan.
68	Tebu	*Sacharum officinarum*	X	X	-	Industri
69	Tembakau	*Nicotiana tabacum*		X	-	Industri

Sumber : Steniis, (1981); Anonim, 2011,Sumarna, 1987.

Keterangan :

***** : Mengandung nilai ekonomi
X : Terdapat
_ : Tidak terdapat
Pkrng : Pekarangan
Tgln : Tegalan

Terdapat sejumlah 69 variasi jenis tanaman yang berdasarkan fungsinya tidak hanya bermanfaat tunggal tetapi juga bermanfaat ganda. Bila ditinjau lahan dimana tanaman tersebut ditanam, ternyata ada yang satu jenis tanaman ditanam pada lahan yang berbeda. Dan satu jenis tanaman ditanam pada satu lahan, misalnya tanaman padi hanya dapat ditemui di sawah saja, tetapi jagung selain di sawah juga dapat dijumpai di tanam di pekarangan.

Meskipun terdapat 69 jenis tanaman yang ditanam, tetapi tanaman yang dikembangkan adalah tanaman yang mempunyai nilai ekonomi (laku dijual dipasar) bahkan ada jenis tanaman yang dikembangkan secara besar-besaran misalnya kopi (PTP XXIII), tembakau (PTP XXVII) dan tebu (tebu rakyat) dipasok ke perkebunan tebu (PTP XX). Khusus tanaman tebu (*Sacharum officinarum*) PTP selain menyewa sawah rakyat untuk TRIS (tebu rakyat intensifikasi) rakyat juga menanam tebu melalui koperasi yang selanjutnya di pasok ke pabrik gula terdekat (misalnya di Kencong dan Semboro). Selain itu di tegalan dan pekarangan banyak ditanam tanaman sengon sedang dalam program sengonisasi yang kayunya dipasok ke pabrik triplek di Bangsalsari masih di daerah Jember juga. Demikian juga dengan tembakau, rakyat juga menanam tanaman tersebut untuk dipasok ke gudang-

gudang tembakau PTP XXII, bahkan rakyat mengolah sendiri tembakau kerosok dan memasok tembakau tersebut ke gudang-gudang milik PTP.

3.3 Sistem pertanian

Di desa penelitian tersebut dapat dijumpai rotasi tanaman (pergiliran tanaman) misalnya pada musim penghujan di sawah ditanami padi, sedang pada musim kemarau ditanami palawija (kedelai, kacang hijau, kacang tanah dll). Tetapi untuk tanaman tebu di sawah ditanam terus menerus pada sepanjang tahun baik musim penghujan maupun musim kemarau.Sedang di pekarangan ditanami sepajang musim karena pada musim kemarau tanaman di pekarangan disiram dari air sumur untuk tanaman yang membutuhkan. Sedangkan di tegalan umumnya pada musim penghujan saja yang ditanami sedang pada musim kemarau hanya tanaman yang tahan kekeringan saja yang hidup misalnya jenis tanaman bertahunan.

Pola tanam yang dapat dijumpai di desa tersebut adalah monokultur misalnya padi, jagung, kedelai dan kacang hijau, tebu dan tembakau. Selain itu juga dijumpai system tumpangsari (intercropping) disawah, yaitu antara kacang tanah dan kacang hijau, kacang panjang dengan cabe, terong dan tomat, antara bayam dan cabe dengan kangkung , jagung dengan kates (papaya) dllnya. Sedang tumpang sari di pekarangan yaitu antara papaya dan kenikir, terung dan cabe dllnya.

Tanaman system capuran (yaitu antara tanaman bertahunan dan bertahunan lainnya) dapat dijumpai di tegalan misalnya mangga dan sawo dan kenitu serta tanaman bertahunan yang lain.

A B

Gambar 2 Contoh pola tanam yang dipraktekkan: (A) Pola tanam monokultur jagung, dan (B) Tumpangsari antara tanaman jagung dan kates (papaya)

Cara berbudidaya tanaman sudah menggunakan bibit unggul terutama untuk komoditas tertentu misalnya tembakau (*Nicotiana tobacum*), tebu (*Saccharum officinarum*), rambutan (*Niphelium lappaceum*) dan durian (*Durio zibethinus*) dll. Mereka juga sudah mengenal pemupukan yaitu untuk tanaman yang bernilai ekonomi tinggi biasanya dipupuk dengan pupuk kimia terutama pada budidaya padi, tembakau, tebu dan tanaman lainnya. Adanya serangan hama/penyakit sudah diatasi dengan pestisida. Di lahan sawah irigasi sudah dipraktekan irigasi teknis (pengairan teknis). Hal ini semata-mata dilakukan untuk intensifikasi pertanian dengan menggunakan panca usaha tani. Dalam hal ini berarti masyarakat sudah dapat menerima inovasi teknologi pertanian baru dalam meningkatkan produksi lahan pertaniannya.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Dapat dijumpai tiga lahan untuk pengusahaan pertanian yaitu lahan sawah irigasi,ladang dan pekarangan.
2. Terdapat 69 jenis tanaman yang dibudidayakan di lahan pertaniannya yang dikembangkan adalah tanaman yang mempunyai nilai ekonomi saja. Sedangkan komoditas tertentu misalnya tebu, tembakau, sengon dibudidayakan secara lebih intensif karena komoditas tersebut sudah jelas laku dijual .
3. Pola tanam yang dijumpai adalah monokultur, tumpangsari dan campuran
4. Dapat dijumpai sostem rotasi tanaman pada musim peghujan dan musim kemarau.
5. Dalam intensifikasi pertanian ini terutama dilakukan hanya pada komoditas ekonomi saja .

Untuk meningkatkan produksi pertanian perlu usaha intensifikasi pertanian, agar dapat ditiru oleh desa lainnya

DAFTAR PUSTAKA

[1] ----------,2010. http://1d.wikipedia.org/wika/Jenggawah,_Jember. Diakses pada tanggal 28 September 2011.

[2] Parkins, J.M, A.Semali, P.W Orchard and R. Rachman.1986. An Atlas of Environmental And Ruminant Population Characteristics of Java a Multivariate Analysis Aproach.

Balai Penelitian Ternak. Forage Research Project an Indonesian- Australian Bilateral Aid Project. Ciawi-Bogor. 78-79 (1986)

[3] Darmawijaya,I.1997. Klasifikasi Tanah. Dasar,Teori Bagi Peneliti dan Pelaksana Pertanian di Indonesia. Gajahmada Press. Yogyakarta.253-254 (1997.)

[4] Raintree, 1987. *The Diagnose and Design.* The International Council of Agroforestry Development.Nairobi, Kenya. 80 p (1987)

[5] Hardono, T, 1992. *Program Diversifikasiu Pangan dan Gizi.* Makalah Seminar Peranan Penganekaragaman Pangan Dalam Rangka Meningkatkan Gizi Masyarakat. Jakarta. 19-20 Oktober 1992.18 hal (1992)

[6] Anonim , 2008. Kedondong. http://id.wikepedia.org/wiki kedondong. Diakses tagl 29 September 2011.

[7] Sastrapradja,D.S, A. Adisoemarto, K. Kartawinata, S. Sastrapradja dan M.A. Rifai. 1989. *Keanekaragaman Hayati Untuk Kelangsungan Hidup Bangsa.* Puslitbang Bioteknologi LIPI. Bogor. 36-38 (1989)

[8] Lakitan, B.1994. Pengembangan pola pemanfaatan lahan pekarangan sebagai sumber pendapatan gizi keluarga di pedesaan Sumetera Selatan. Universitas Sriwijaya. Palembang. 219 (1994)

PENGARUH PENAMBAHAN *Glomus aggregatum* PADA ENKAPSULASI BENIH SENGON (*Paraserianthes falcataria*)

Dody Priadi
Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI
Jl. Raya Bogor Km.46 Cibinong 16911
Telp. (021) 8754587 Fax. (021) 8754588 HP. 08129697037
d_priadi2002@yahoo.com

ABSTRAK

Benih untuk penghijauan lahan marginal harus mampu bertahan hidup dan mempunyai viabilitas tinggi dalam kondisi ekstrim. Dalam upaya tersebut telah dilakukan teknik enkapsulasi benih menggunakan bahan-bahan yang ramah lingkungan dan mengandung hara.. Benih sengon dienkapsulasi menggunakan campuran 100 gram tanah, 100 gram kompos dan 100 gram tepung tapioka ditambah dengan spora *Glomus aggregatum* (kepadatan 0, 5, 10 dan 15%). Benih sengon yang telah dienkapsulasi dikecambahkan pada media pasir steril selama 21 hari kemudian dipindahkan ke polibag selama 30 hari untuk diamati tinggi tanaman, jumlah daun dan akar. Penelitian disusun berdasarkan Rancangan Acak Lengkap dengan 3 ulangan. Hasil pengamatan dianalisis menggunakan sidik ragam yang dilanjutkan dengan DMRT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi tanaman sengon yang dienkapsulasi menggunakan 15% *G. aggregatum* (5,4 cm) adalah tertinggi dan berbeda nyata (5%), sedangkan untuk jumlah akar dan daun tidak berbeda nyata secara statistik dengan perlakuan lainnya. Penelitian ini merupakan tahap awal untuk menghasilkan benih sengon berenkapsulasi untuk penghijauan lahan marginal yang tersebar luas di Indonesia.

Kata kunci: Sengon, *Paraserianthes falcataria*, enkapsulasi, *Glomus aggregatum*, lahan marginal

1 PENDAHULUAN

Lahan marginal adalah lahan yang dalam pemanfaatannya mempunyai kendala fisik, biologis, kimiawi dan sosial ekonomi [1]. Pada lahan ini bahan penyusun tanahnya lebih dari 80% adalah sehingga ketersediaan air dan unsur hara tanaman sangat rendah [2]. Lahan marginal memiliki beberapa faktor pembatas jika digunakan untuk suatu keperluan tertentu yang dapat diatasi dengan masukan, atau biaya untuk meningkatkan kualitas lahan tersebut [3].

Penghijauan di lahan marginal memerlukan benih yang mampu bertahan hidup dalam kondisi ekstrim dan diharapkan tetap mempunyai viabilitas yang tinggi setelah disebar. Salah satu upaya untuk menanggulangi hal tersebut adalah dengan pemanfaatan teknik enkapsulasi yang bertujuan untuk membekali benih dengan hara yang diperlukan untuk pertumbuhannya.

Teknik enkapsulasi benih yang digunakan pada penelitian ini merupakan pengembangan teknik enkapsulasi sebelumnya yang memanfaatkan bahan-bahan yang murah, ramah lingkungan dan mengandung hara yang [4].

Teknik enkapsulasi pada penelitian ini dimodifikasi dengan menambahkan mikroba tanah yang dapat bersimbiosis mutualisme dengan akar tanaman untuk meningkatkan pertumbuhannya. Pada penelitian ini digunakan jenis Fungi Arbuskula Mikoriza (FMA) *Glomus aggregatum*. Salah satu peran fungi tersebut adalah untuk meningkatkan efisiensi penyerapan hara dari tanah terutama fosfor yang sukar terlarut [5]. FMA secara umum diberikan di sekitar akar tanaman, namun pada penelitian ini FMA ini dicampurkan dengan bahan enkapsulasi sehingga pada waktu akar muncul diharapkan akan segera terinfeksi.

Benih yang dienkapsulasi adalah sengon (*Paraserianthes falcataria*) yang merupakan jenis tanaman serba guna dan cepat tumbuh yang diprioritaskan untuk konservasi dan pengelolaan sumber daya genetik hutan di Indonesia [6].

Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh *G. aggregatum* pada bahan enkapsulasi terhadap pertumbuhan benih sengon. Tujuan jangka panjang penelitian ini adalah mendukung program penghijauan lahan marginal dalam hal penyediaan benih.

2 METODOLOGI

Sumber Benih

Benih sengon (*Paraserianthes falcataria*) yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil koleksi lapangan tahun 2010 dari Cianjur, Jawa Barat.

Bahan Enkapsulasi

Bahan enkapsulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran 100 gram tanah, 100 gram kompos dan 100 gram tepung tapioka. Tanah yang digunakan untuk enkapsulasi berjenis latosol, sedangkan kompos berbahan dasar seresah daun dan kotoran sapi serta tepung tapioka komersial (Merek ”Gunung Agung”) [4].

Mikoriza yang ditambahkan kepada bahan enkapsulasi benih sengon adalah FMA (Fungi Mikoriza Arbuskula) *Glomus aggregatum* yang berasal dari Laboratorium Silvikiltur SEAMEO-BIOTROP, Bogor dalam bentuk spora pada media tanah (65 spora/10 gram tanah). Perlakuan enkapsulasi benih sengon menggunakan *G. aggregatum* adalah sebagai berikut: 0 (kontrol, enkapsulasi tanpa *G. aggregatum*), 5, 10 dan 15% tanah yang mengandung spora

mikoriza tersebut. Inokulasi FMA lebih efektif dilakukan pada tanaman tingkat semai atau pada biji yang baru berkecambah karena inokulasi pada tanaman yang telah dewasa kurang optimal [7]. Mikoriza dapat memudahkan penyerapan nutrisi dan air, serta mampu mengefisienkan pemberian pupuk buatan, serta mudah terserap oleh tanah pada lahan kritis, sehingga akan lebih tahan terhadap kekeringan dan serangan patogen akar [8].

Prosedur kerja enkapsulasi benih sengon adalah sebagai berikut: Tepung tapioka dilarutkan dalam air (10 gram/1 liter air) dipanaskan sambil diaduk perlahan-lahan hingga mengental dan membentuk gel (kanji) dan dibiarkan menjadi dingin. Bahan-bahan enkapsulasi (tanah, kompos dan spora *G. aggregatum* dalam campuran tanah) diaduk sampai homogen dan ditambahkan kepada larutan tapioka dan diaduk lagi hingga merata di dalam baki plastik. Benih sengon yang telah disortasi kemudian dienkapsulasi secara manual menggunakan campuran tersebut hingga membentuk butiran-butiran berdiameter ± 1,0 cm. Benih sengon yang telah dienkapsulasi kemudian dikeringanginkan di baki plastik.pada ruangan terbuka

Uji Daya Perkecambahan

Proses perkecambahan dilakukan pada media pasir steril di dalam baki plastik berukuran 25 x 20 x 5 cm. Penggunaan media pasir bertujuan untuk mengetahui pengaruh enkapsulasi terhadap pertumbuhan tanaman dengan asumsi bahwa media pasir tidak atau sedikit mengandung hara, selain itu pasir mempunyai porositas yang baik untuk pertumbuhan akar. Benih sengon disiram dengan air kran sesuai dengan kebutuhan untuk mempertahankan kadar air pada media pasir tersebut sehingga dapat merangsang benih untuk berkecambah. Pengamatan perkecambahan dilakukan setiap hari selama 21 hari untuk mengetahui daya dan pola pertumbuhannya.

Kecambah yang tumbuh menjadi planlet dihitung tinggi, jumlah daun majemuk dan akarnya, kemudian dipindahkan ke polibag dengan menggunakan media yang sama untuk pengamatan pertumbuhan selanjutnya selama 30 hari.

Analisis Data

Penelitian disusun berdasarkan rancangan acak lengkap dengan tiga ulangan. Data dianalisis menggunakan sidik ragam (Anova) dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan

(DMRT) menggunakan perangkat lunak pengolah data SPSS 16 dengan selang kepercayaan 95%.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

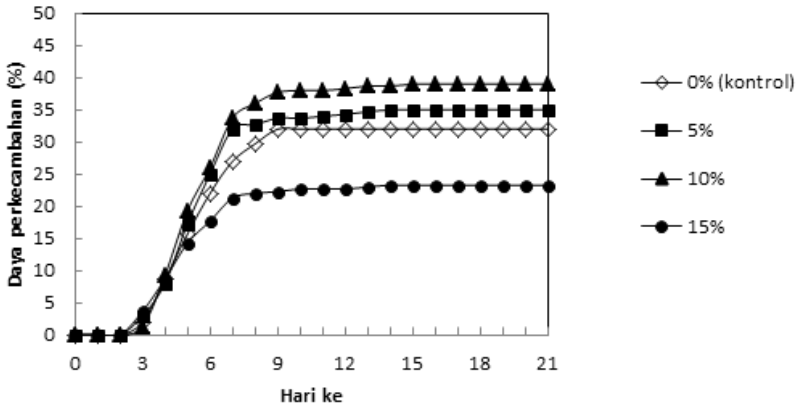
Daya Perkecambahan

Daya perkecambahan adalah jumlah kecambah yang dihasilkan di dalam kurun waktu tertentu sedangkan laju perkecambahan adalah jumlah hari yang dibutuhkan untuk mencapai persen perkecambahan [9]. Benih yang dienkapsulasi tidak memerlukan proses pelunakan kulit biji (stratifikasi) terlebih dahulu karena akan mengalami imbibisi sehingga merusak dinding kapsul dan akan langsung berkecambah. Di samping itu proses perkecambahan tidak dapat dilakukan di dalam *growth chamber* karena benih tidak akan berkecambah meskipun kapsulnya telah pecah. Gejala ini menunjukkan bahwa benih yang telah dienkapsulasi tidak dapat dianggap sebagai suatu benih utuh sehingga memerlukan penanganan yang berbeda dari benih yang tidak dienkapsulasi [4].

Daya perkecambahan benih sengon tertinggi (39%) diperoleh dari benih sengon yang dienkapsulasi menggunakan bahan yang mengandung 10% *G. aggregatum*, sedangkan daya perkecambahan tanpa *G. aggregatum* adalah 32%. Daya perkecambahan tersebut lebih rendah dibandingkan dengan benih mangium yang dienkapsulasi yaitu 86.7% [10]. Daya perkecambahan benih sengon yang dienkapsulasi menggunakan bahan yang mengandung 15% *G. aggregatum* lebih rendah dibandingkan dengan kontrol, sehingga dengan demikian kepadatan *G. aggregatum* yang optimal untuk enkapsulasi benih sengon adalah 10%. Penampilan benih sengon yang dienkapsulasi diperlihatkan pada Gambar 1.

Gambar 1 A. Benih sengon yang dienkapsulasi, B. Kecambah sengon muncul dari kapsulnya, C. Perkecambahan pada baki plasik dan D. Benih setelah dipindah ke media pembesaran

Kurva perkecambahan benih sengon yang dienkapsulasi dengan bahan yang mengandung spora *G. aggregatum* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Pola perkecambahan benih sengon (*P. falcataria*) yang dienkapsulasi menggunakan bahan yang menandung spora *G. aggregatum* selama 21 hari pada media pasir steril

Kurva perkecambahan tersebut menunjukkan bahwa benih sengon berenkapsulasi mulai berkecambah (kecambah awal) pada hari ketiga pada semua perlakuan kemudian meningkat hingga mencapai daya perkecambahan tertinggi yaitu hari-9 pada kontrol, hari-14 pada perlakuan 5%, hari-15 pada 10% dan hari-14 pada 15% *G. aggregatum*. Nilai yang penting pada kurva perkecambahan adalah titik dimana laju perkecambahan mulai melambat dan persentase akhir perkecambahan karena dua faktor tersebut dapat menentukan fase cepat dan fase lambat dari suatu proses perkecambahan [9].

Penelitian yang menggunakan benih sengon yang dienkapsulasi tanpa FMA menghasilkan daya perkecambahan 24,7% [4], sedangkan pada penelitian ini adalah 32%. Hal tersebut menunjukkan bahwa teknik enkapsulasi juga dapat dikembangkan lebih jauh untuk penyimpanan benih sengon.

Tinggi tanaman

Berbeda dengan daya perkecambahan**,** tinggi tanaman terbaik (5,4 cm) diperoleh dari benih sengon yang dienkapsulasi menggunakan bahan yang mengandung 15% *G. aggregatum* dan berbeda nyata (taraf 5%) dengan perlakuan lainnya.

Tabel 1 Pertumbuhan benih sengon yang dienkapsulasi dengan *G. aggregatum* selama 30 hari pada polibag pembesaran

Kepadatan *G. aggregatum* (%)	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun majemuk	Jumlah akar
0	4.5 b	5.8 a	17.8 a
5	4.5 b	5.9 a	10.7 a
10	4.7 b	6.0 a	10.5 a
15	5.4 a	5.9 a	9.9 a

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf berbeda dalam suatu kolom menunjukkan perbedaan nyata (5%) menurut DMRT

Jumlah daun majemuk

Meskipun jumlah nilai rataan daun terbanyak (6,0) diperoleh dari perlakuan 10% *G. aggregatum* tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya (Tabel 1). Gambar 3 memperlihatkan penampilan pertumbuhan daun sengon dari benih yang dienkapsulasi menggunakan *G. aggregatum* selama 30 hari pada polibag pembesaran

Gambar 3 Pertumbuhan daun sengon yang dienkapsulasi dengan *G. aggregatum* selama 30 hari pada polibag pembesaran

Jumlah akar

Penambahan *G. aggregatum* pada bahan enkapsulasi tampaknya menghambat pembentukan akar karena jumlah akar terbanyak (17,8) diperoleh dari benih sengon yang dienkapsulasi dengan bahan tanpa *G. aggregatum* (kontrol) meskipun tidak nyata secara statistik. Pada akar telah terlihat adanya bintil yang menandakan bahwa *G. aggregatum* telah menginfeksi akar sengon (Gambar 4).

Gambar 4 Bintil pada akar tanaman sengon yang dienkapsulasi menggunakan 15% *G. aggregatum*

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Penambahan 10% *G. aggregatum* pada bahan enkapsulasi benih sengon dapat meningkatkan daya perkecambahan, sedangkan penambahan 15% *G. aggregatum* dapat meningkatkan tinggi tanaman tetapi tidak dapat meningkatkan jumlah daun majemuk dan akar secara nyata., Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan jenis dan kepadatan FMA yang lain untuk memperoleh pertumbuhan yang optimal. Teknik enkapsulasi selain digunakan untuk mempertahankan atau meningkatkan viabilitas juga dapat digunakan untuk penyimpanan benih sengon. Benih berenkapsulasi lebih praktis untuk diaplikasikan di lapangan karena kapsulnya yang bersumber dari pupuk organik maupun pupuk bio dapat berfungsi dan memfasilitasi tersedianya hara untuk pertumbuhan tanaman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai melalui program insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa (PKPP Ristek-Dikti) tahun 2011. Terima kasih disampaikan pula kepada Yani Cahyani, SP yang telah membantu pelaksanaan penelitian di rumah kaca.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. Gunadi dan Subhan, 2007. Respon tanaman tomat terhadap penggunaan jamur mikoriza di lahan marginal. J. Hort. (2007) 17(2): 138-149.

[2] S.A. Siradz dan S. Kabirun, 2007. Pengembangan lahan marginal pesisir pantai dengan bioteknologi masukan rendah. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan (2007) 7(2): 83-92.

[3] N.W. Yuwono, 2009. Membangun kesuburan tanah di lahan marginal. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan (2009) 9(2): 137-141.

[4] D. Priadi, 2010. Aplikasi teknik enkapsulasi pada benih sengon (*Paraserianthes falcataria*). Teknologi Indonesia (2010) 33(2): 92-99.

[5] T. Mala, S. Chotchuangmaneerat, W. Phuengsaeng and J. Phumphet. 2010. Efficiency of *Glomus aggregatum*, Azotobacter, Azospirillum and Chemical Fertilizer on Growth and Yield of Single Cross Hybrid 4452 Maize. Kasetsart J. (Nat. Sci.) (2010) 44 : 789 – 799.

[6] N. Masripatin, A. Rimbawanto, A. YPBC Widyatmoko, D. Purwito, M. Susanto, N. Khomsah, Yuliah, T. Setiadi and L. Hakim. (2003). A Country Report on the Status of Forest Genetic Resources Conservation and Management in Indonesia. Yogyakarta: Center for Forest Biotechnology and Tree Improvement Research and Development 2003.

[7] F.D. Husna, Tuheteru dan Mahfudz. 2007. Aplikasi mikoriza untuk memacu pertumbuhan jati di muna (Mycorrhiza Application to support growth of teak in Muna). Info Teknis Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan (2007) 5(1): 1-4.

[8] U. Maliyana, E. Martin dan E.A. Waluyo. 2006. Pemanfaatan Mikoriza dalam Meningkatkan Kualitas Bibit Jenis Prioritas Sumatera Selatan. Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian Hutan Tanaman, Baturaja 7 Desember 2005 : Optimalisasi Peran IPTEK dalam Mendukung Peningkatan Produktivitas Hutan dan Lahan (2006) Halaman 69-76.

[9] H.T. Hartmann, D.E. Kester and F.T. Davies JR. (1990). Plant Propagation, Principles and Practices 5th ed. New Jersey: Prentice Hall International.

[10] D. Priadi, 2011. Pengaruh jenis dan kadar bahan enkapsulasi terhadap viabilitas benih mangium (*Acacia mangium* Willd). Prosiding Seminar "Konsevasi Tumbuhan Tropika: Kondisi Terkini dan Tantangan ke Depan". Halaman: 71-75.

ANALISIS VEGETASI POHON PADA BERBAGAI TIPE VEGETASI TINGKAT ALIANSI DI HUTAN SUB PEGUNUNGAN GUNUNG SALAK BOGOR JAWA BARAT

Muhammad Wiharto
Jurusan Biologi FMIPA Univeristas Negeri Makassar
Kampus Parangtambung Jl. Dg. Tata Raya
Telp: 085882323478
email: wiharto09@gmail.com

ABSTRAK

Kawasan hutan sub pegunungan di Gunung Salak memiliki arti penting bagi konservasi keanekaragaman hayati pegunungan tropis, khususnya dalam melestarikan spesies endemik dan langka yang hanya terdapat di gunung ini. Pemahaman tentang vegetasi khususnya pepohonan di kawasan ini diperlukan dalam rangka pelestarian kawasan Gunung Salak. Analisis vegetasi pohon dilakukan pada setiap tipe vegetasi tingkat aliansi pada hutan sub pegunungan Gunung Salak. Pada aliansi 1, 2, dan 3 berturut-turut ditemukan 72, 71, dan 56 spesies pohon. Spesies dengan individu terbanyak pada aliansi 1 adalah *Schima wallichii*, dan pada aliansi 2 dan 3 adalah *Pinus merkusii*. Pada setiap aliansi berhasil ditemukan spesies yang hanya memiliki satu individu, yaitu *Pinanga javana*, *Dysoxylum excelsum*, dan *Antidesma tetendung* pada aliansi 1; *Glochidion rubrum*, *Goniothalamus macrophyllus*, *Schefflera scandens*, *Glutta renghas*, *Antidesma tetendung*, *Dissochaeta gracilis*, dan *Polygala venenosa* pada aliansi 2; dan *Pithecellobium montanum*, *Calliandra tettragoma*, *P. venenosa*., *Dipterocarpus haseltii*, dan *Symplocos spicatai* pada aliansi 3. Pada penelitian ini juga ditemukan spesies-spesies pada strata pohon yang memiliki jumlah individu ≤ 1 ha^{-1}, yaitu sebanyak 27,77 % di aliansi 1, 35,22 % di aliansi 2, dan 12,5 % spesies - spesies yang ada di aliansi 3.

Kata Kunci: Aliansi, Analisis vegetasi, Gunung Salak, hutan sub pegunungan.

1 PENDAHULUAN

Gunung Salak merupakan salah satu ekosistem pegunungan tropis yang memiliki arti penting bagi konservasi keanekaragaman hayati pegunungan, khususnya dalam melestarikan spesies endemik dan langka yang hanya terdapat di gunung ini. Gunung Salak merupakan salah satu ekosistem pegunungan tropis di Jawa Barat dengan kisaran ketinggian antara 400 m dpl sampai dengan 2210 m dpl [1].

Hutan sub pegunungan yang merupakan bagian dari ekosistem di Gunung Salak rentan terhadap berbagai gangguan manusia karena sangat berdekatan dengan lokasi pemukiman. [2] mengatakan bahwa sebagian besar hutan Gunung Salak masih berupa hutan primer dengan kondisi hutan relatif baik, meskipun di beberapa tempat mengalami gangguan. Tekanan lebih berat terjadi pada kawasan hutan yang berdekatan dengan kampung yang

memiliki tingkat hunian padat. Pada kawasan ini, gangguan oleh masyarakat, antara lain terjadi dalam bentuk alih fungsi menjadi sawah, selebihnya dimanfaatkan untuk ladang dan kebun. Lahan-lahan ini kemudian banyak yang diterlantarkan dan menjadi semak belukar maupun hutan sekunder.

Hutan sub pegungungan di Gunung Salak, juga rentan terhadap berbagai gangguan yang bersifat alami, mengingat kondisi topografinya yang terletak di daerah ketinggian dengan lereng yang curam dan curah hujan yang relatif tinggi mencapai 3000 mm tahun^{-}[3]. Gangguan–gangguan tersebut mengakibatkan perubahan pada distribusi, komposisi dan struktur dari berbagai tipe vegetasi pada ekosistem pegunungan. [4] mengatakan bahwa hilangnya berbagai tipe vegetasi mengakibatkan berkurangnya keanekaragaman habitat sehingga menyebabkan banyak spesies terancam kepunahan. [5] mengatakan bahwa gangguan tersebut pada gilirannya akan mengakibatkan menurunnya kemampuan ekologis dari suatu ekosistem dan menimbulkan dampak seperti erosi, banjir, maupun tanah longsor.

Penelitian oleh [6] menunjukkan kawasan hutan sub pegunungan ini memiliki tiga tipe vegetasi tingkat aliansi, yaitu: (1) Aliansi hutan *Schima wallichii-Pandanus punctatus*/*Cinchona officinalis* (aliansi 1); (2): Aliansi hutan *Gigantochloa apus-Mallotus blumeanus/ C. officinalis* (aliansi 2); dan (3): Aliansi hutan *Pinus merkusii-Athyrium dilatatum/ Dicranopteris dichotoma* (aliansi 3)

Gunung Salak saat ini telah berubah statusnya dari hutan lindung menjadi taman nasional dan digabung dengan taman nasional Gunung Halimun dengan nama Taman Nasional Gunung Halimun Salak. Penggabungan ini berdasarkan SK Menteri Kehutanan Nomor 175/Kpts-II/2003 tanggal 10 Juni 2003 [1]. Lebih lanjut dikatakan bahwa, dengan adanya penggabungan ini maka dalam manajemen dan pengelolaan perlu pengetahuan dan pemahaman yang mendalam tentang kondisi ekologi vegetasi Gunung Salak. Di antara kondisi ekologi yang perlu dipahami dengan baik di kawasan ini adalah struktur dan komposisi vegetasi.

Manajemen dinamika suatu lansekap harus didasarkan pada proses-proses vegetasi yang menjadi dasar dari proses-proses ekologi yang berlangsung pada suatu ekosistem. [7] mengatakan bahwa pemahaman tentang struktur vegetasi penting, merupakan dasar dari seluruh kegiatan pekerjaan ekologi [8]. Struktur vegetasi harus diklarifikasi terlebih dahulu dalam rangka melaksanakan suatu manajemen yang layak berdasarkan prinsip kelestarian [9].

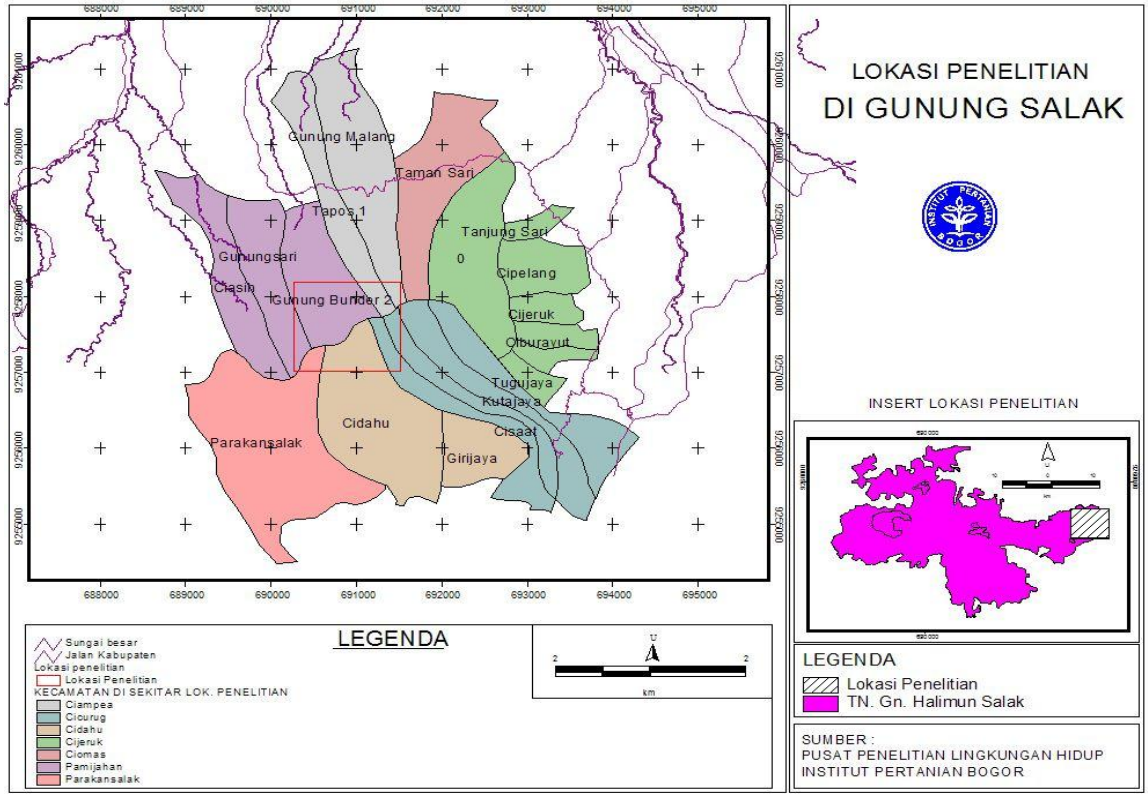
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur dan komposisi spesies pohon, pada setiap tegakan yang terdapat pada tipe vegetasi tingkat aliansi di hutan sub pegunungan bawah Gunung Salak, Bogor, Jawa Barat.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di hutan sub pegunungan (*sub montane*) Gunung Salak yang merupakan bagian dari Taman Nasional Gunung Halimun Salak. Lokasi kawasan hutan sub pegunungan Gunung Salak dapat didaki dari beberapa tempat, dan pada penelitian ini melalui desa Gunung Bunder Dua (S6^0 41'484"-E106^0 42'234") dan desa Gunung Sari (Kawah Ratu) (S6^{0}41'.786"-E106^{0}42'.006") kecamatan Pamijahan, kabupaten Bogor. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Pengambilan sampel vegetasi dilakukan pada aliansi 1, aliansi 2, dan aliansi 3.

Data vegetasi tingkat pohon diambil pada 36 buah tegakan yang terdapat di aliansi 1, 17 buah tegakan pada aliansi 2, dan 7 buah tegakan pada aliansi 3. Tegakan-tegakan tersebut tersebar secara acak pada setiap aliansi. Setiap tegakan terdiri atas 10 buah kuadrat yang masing-masing berukuran 20 x 20 m. Setiap pohon di dalam kuadrat yang memiliki diameter batang setinggi dada lebih besar atau sama 20 cm dihitung jumlahnya, kemudian diukur basal areanya, dan selanjutnya diidentifikasi nama ilmiah pohon tersebut. Pengukuran basal area pohon ditentukan pada ketinggian diameter batang setinggi dada (130 cm dari permukaan tanah). Penentuan spesies pohon dilakukan di lapangan, dan spesies-spesies yang tidak diketahui namanya ilmiahnya dibuatkan voucher spesimennya dan kemudian diidentifikasi di Herbarium Bogoriense, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Cibinong. Data-data pohon ini kemudian digunakan untuk menentukan Indeks Nilai Penting setiap spesies. Statistik U-Mann Whitney [10] digunakan untuk mengetahui perbedaan jumlah individu spesies di antara aliansi.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada aliansi 1 ditemukan 72 spesies pohon dengan jumlah total individu sebanyak 9046 pohon. Spesies yang memiliki individu terbanyak adalah *Schima wallichii*, yaitu sebanyak 1258 pohon (Tabel 1) Jumlah seluruh individu pohon di aliansi ini menyusun 66,04 % jumlah individu pohon di seluruh aliansi (Tabel 2). Ditemukan 3 spesies yang hanya memiliki 1 individu, yaitu *Pinanga javana*, *Dysoxylum excelsum*, dan *Antidesma tetendung* .

Jumlah spesies pohon pada aliansi 2 adalah 71 dengan total jumlah individu sebanyak 3124 pohon. Jumlah ini menyusun 22,81 % total individu pohon di seluruh aliansi (Tabel 2). Spesies dengan jumlah individu terbanyak adalah *Pinus merkusii*, yaitu sebanyak 374 pohon (Tabel 1). Ditemukan 7 spesies yang hanya memiliki 1 individu, yaitu *Glochidion rubrum*, *Goniothalamus macrophyllus*, *Schefflera scandens*, *Glutta renghas*, *A. tetendung*, *Dissochaeta gracilis* (Jack) Bakh., dan *Polygala venenosa* Juss. ex Poir.

Pada aliansi 3 ditemukan jumlah spesies sebanyak 56 dengan jumlah total individu sebanyak 1527 pohon. Jumlah ini menyusun 11,15 % total individu pohon di seluruh aliansi (Tabel 3). Spesies *P. merkusii* memiliki individu terbanyak, yaitu 311 pohon (Tabel 1). Terdapat 5 spesies pohon yang hanya memiliki 1 individu, yaitu *Pithecellobium montanum*, *Calliandra tettragoma*, *P. venenosa*, *Dipterocarpus haseltii*, dan *Symplocos spicata*.

Tabel 1 Jumlah individu spesies pohon dengan nilai Indeks Nilai Penting tertinggi pada aliansi 1, 2, dan 3 di hutan sub pegunungan Gunung Salak, Bogor, Jawa Barat.

Aliansi 1*		Aliansi 2**		Aliansi 3***	
Spesies	Jumlah Individu	Spesies	Jumlah Individu	Spesies	Jumlah Individu
Schizostachum brachycladum (37)	5	*Schizostachum brachycladumi* (36)	5	*Dysoxylum arborescens* (9)	22
Eugenia oclusa (35)	316	*Schizostachyum iraten* (2, 32)	18	*Maesopsis eminii* (12)	40
Pandanus punctatus (45)	478	*Pandanus punctatus* (34)	159	*Altingia excelsa* (9)	46
Dysoxylum arborescens (30,39,40)	653	*Gigantochloa apus* (7, 16,17,18,19,21, 22,23,26,28,29)	322	*Athyrium dilatatum* (47)	74
Schima wallichii (3,4,5,8,10,13, 14,15,20,24,25, 31,33,38,42,43,44, 46,49,50,51,52,53,54, 55,56,57,58,59,60)	1258	*Mallotus blumeanus* (27)	326	*Pinus Merkusii* (1, 11, 41)	311
		Pinus Merkusii (6)	374		

Keterangan: *: Jumlah individu pohon pada 36 tegakan pengamatan (14,4 ha). **: jumlah individu pohon pada 17 tegakan pengamatan (6,8 ha); *** Jumlah individu pohon pada 7 tegakan pengamatan (2,8ha). Angka dalam kurung menunjukkan nomor tegakan dimana spesies bersangkutan memiliki nilai INP tertinggi.

Tabel 2 Total jumlah individu pohon di seluruh tipe vegetasi tingkat aliansi

	Aliansi		
	1	2	3
Jumlah individu pohon/ luas aliansi[(a)]	9046 (66,04%)	3124 (22,81%)	1527 (11,15%)

Keterangan: Aliansi 1: a: 14,4 ha, 36 tegakan pengamatan; Aliansi 2: a: 6,8 ha, 17 tegakan pengamatan; Aliansi 3: a: 2,8 ha, 7 tegakan pengamatan.

Pada penelitian ini juga ditemukan spesies-spesies pada strata pohon yang memiliki jumlah ≤ 1 individu ha^{-1}, yaitu sebanyak 27,77% di aliansi 1, 35,22 % di aliansi 2, dan 12,5 % di aliansi 3. Spesies -spesies ini bersama dengan spesies yang penyebarannya sangat terbatas perlu mendapat perhatian karena diduga kelangsungan keberadaannya di hutan hutan sub pegunungan, Gunung Salak menjadi sulit.

Kemungkinan hal ini disebabkan oleh beberapa hal, yaitu pertama, pada strata pohon inilah spesies-spesies tersebut dapat menghasilkan alat perkembangbiakan dan sekaligus bereproduksi. Namun pada kondisi ini, peluang untuk menghasilkan anakan dalam jumlah yang mencukupi untuk dapat bertahan menjadi kecil. Kedua, dengan kondisi ini akan membuat spesies-spesies tersebut sangat rentan terhadap fluktuasi kondisi lingkungan baik yang terjadi secara alami maupun secara antropogenik. Fluktuasi yang demikian dapat mempengaruhi ketersediaan sumberdaya, baik makanan maupun ruang hidup dari spesies-spesies jarang ini, sehingga mengancam kehadirannya di hutan sub pegunungan, Gunung Salak [11]. Hal ini pada gilirannya akan mempengaruhi keanekaragaman hayati Gunung Salak, dan juga mengakibatkan keseimbangan ekologi kawasan ini menjadi terganggu. Alasan berikutnya untuk perlunya spesies-spesies ini mendapat perhatian karena data dari penelitian ini yang menunjukkan jumlah spesiesnya yang relatif banyak di aliansi 1 dan 2 yang merupakan hutan alam.

Pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa di seluruh aliansi, jumlah spesies pohon yang memiliki individu yang sedikit per hektar, jauh lebih banyak dibanding jumlah spesies pohon yang memiliki individu yang banyak. Melalui penelitian ini ditemukan bahwa untuk aliansi 1, ditemukan 73,61 % spesies pohon dengan jumlah individu antara 1 – 10 individu pohon, 19,44 % memiliki jumlah individu antara 11 – 30 individu pohon, 6,94% memiliki jumlah individu pohon antara 31-100 individu pohon, dan tidak ada sama sekali spesies yang memiliki individu pohon lebih dari 100 individu pohon. Untuk aliansi 2, terdapat sebanyak 83,10 % spesies pohon dengan jumlah individu antara 1 – 10 individu pohon, 12,68 % memiliki jumlah individu antara 11 – 30 individu pohon, 4,23% memiliki jumlah individu pohon antara 31-100 individu pohon, dan tidak ada sama sekali spesies yang memiliki individu pohon lebih dari 100. Untuk aliansi 3 terdapat 73,43% spesies pohon dengan jumlah individu antara 1 – 10 individu pohon, 26,79 % memiliki jumlah individu antara 11 – 30 individu pohon, tidak ada sama sekali spesies yang memiliki individu pohon antara 31-100

individu pohon, dan 1,79% spesies yang memiliki individu pohon lebih dari 100 individu pohon.

Vegetasi pepohonan yang disusun oleh spesies dengan jumlah individu yang sangat sedikit adalah karakter dari hutan hujan tropis basah [12]. Penulis yang sama melaporkan bahwa, Meijer (1959) yang melakukan penelitian di zone hutan hujan tropis basah sub pegunungan Gunung Gede Panggrango dengan area sampel seluas 1 ha, menemukan bahwa dari 73 spesies pohon yang diperoleh di kawasan tersebut, hanya 1 spesies (1,37%) yang memiliki jumlah individu pohon lebih dari 30. Sebanyak 53 spesies pohon (72,6%) memiliki jumlah individu pada kisaran 1-10, dan selebihnya, sebanyak 19 pohon (26,03%) memiliki jumlah individu pohon pada kisaran 11-30.

Tabel 3. Kisaran jumlah individu pohon di seluruh tipe vegetasi tingkat aliansi

Aliansi	Kisaran jumlah individu spesies ha^{-1}				
	1-10	11-30	31-100	>100	Jumlah
1	53	14	5	0	72
2	59	9	3	0	71
3	40	15	0	1	56

Pada penelitian ini tidak ditemukan sama sekali spesies pada strata pohon yang memiliki INP tertinggi pada satu atau lebih tegakan di seluruh aliansi (Tabel 1). Selanjutnya hanya *P. merkusii*, *Schizostachyum brachycladum Kurz.*, *Dysoxylum arborescens* dan *Pandanus punctatus* yang ditemukan memiliki INP tertinggi pada satu atau lebih tegakan pengamatan di 2 aliansi. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada satu pun spesies pada strata pohon yang mendominasi seluruh hutan sub pegunungan, Gunung Salak.

Kecuali *S. brachycladum*, semua spesies pohon yang memiliki INP tertinggi di satu atau lebih tegakan pengamatan di aliansi 1 memiliki jumlah individu lebih dari 300 pohon pada luasan 14,4 ha. Spesies-spesies dengan INP tertinggi ini berjumlah 5 (6,94% dari jumlah spesies pohon di aliansi ini), yaitu *S. wallichii*, *D.arborescens*, *P. punctatus*, *Eugenia oclusa* Kurz., dan *S. brachycladum*. Jumlah total individu spesies ini adalah 2750 batang pohon pada luasan area 14,4 ha (Tabel 1).

Pada aliansi 2, jumlah spesies pohon yang memiliki INP tertinggi adalah 6 (8,45% dari total jumlah spesies yang ada di aliansi ini) dengan jumlah individu sebanyak 1204

pohon pada luasan area 6,8 ha Keenam spesies ini adalah *P. merkusii*, *G. apus*., *Mallotus blumeanus*, *S. iraten* , *P. punctatus*, dan *S. brachycladum.* (Tabel 1).

Pada aliansi 3 ditemukan 5 spesies pohon (8,93 % dari total jumlah spesies yang ada di aliansi ini) yang memiliki INP tertinggi di satu atau lebih tegakan pengamatan. Spesies-spesies tersebut adalah *P. Merkusii*, *D. arborescens*., *Maesopsis emenii*, *Athyrium dilatatum* (Bl.) Milde, dan *Altingia excelsa* Norona. Jumlah individu seluruh spesies ini adalah 493 pohon pada luasan area 2,8 ha .

Keterangan di atas menunjukkan bahwa jumlah spesies dominan pada suatu aliansi hanya sedikit dengan persentase di bawah 10% dari jumlah total spesies pada suatu aliansi. Salah satu faktor yang diduga penyebab tingginya nilai INP yang menunjukkan dominansi dari spesies-spesies ini karena memiliki jumlah individu yang lebih melimpah dibanding spesies-spesies lainnya.

Keseluruhan jumlah spesies pohon yang ditemukan pada seluruh aliansi hutan sub pegunungan, Gunung Salak adalah sebanyak 83, dengan jumlah individu dari seluruh spesies yang telah disampling adalah 13697 batang pohon. Perincian yang lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada Tabel 4 terlihat bahwa secara statistik jumlah individu pohon pada aliansi 1 berbeda dengan aliansi 2, namun tidak berbeda dengan aliansi 3, dan juga jumlah individu pohon antara aliansi 2 dan 3 secara statistik tidak berbeda. Namun, ada kecendrungan jumlah individu pohon ha^{-1} terbanyak ditemukan pada aliansi yang didominasi vegetasi hutan campuran (aliansi 1), yaitu sebanyak 628 ha^{-1}, diikuti pada aliansi yang didominasi oleh hutan tanaman (aliansi 3), yaitu sebanyak 545 ha^{-1}, dan terakhir aliansi yang didominasi oleh hutan bambu (aliansi 2), yaitu sebanyak 459 ha^{-1}. Data ini menunjukkan bahwa individu tumbuhan yang ada di hutan bambu lebih sedikit dibanding hutan alam campuran dan hutan tanaman.

Tabel 4 Perbedaan jumlah individu pohon antara tipe vegetasi tingkat aliansi

	Aliansi Vegetasi		
Uji Statistik	1-2	1-3	2-3
Mann-Whitney U	90**	68,5	30
Z	-4,116**	-1,892	-1,874

Keterangan: ** : sangat signifikan pada P < 0,01

4 SIMPULAN DAN PROSPEK

Pada kawasan hutan sub pegunungan di Gunung Salak ditemukan spesies di aliansi 1 sebanyak 72, dengan individu terbanyak adalah *S. wallichii*. Ditemukan 3 spesies yang dengan 1 individu, yaitu *P. javana*, *D. excelsum*, dan *A. tetendung*. Jumlah spesies pada aliansi 2 adalah 71 dan yang memiliki individu terbanyak adalah *P. merkusii*, yaitu 374 pohon. Ditemukan 7 spesies yang hanya memiliki 1 individu, yaitu *G. rubrum*, *G. macrophyllus*, *S. scandens*, *G. renghas*, *A. tetendung*, *M. axima*, dan *P. venenosa*. Jumlah spesies yang ditemukan di aliansi 3 sebanyak 56 dan *P. merkusii* memiliki individu terbanyak, yaitu 311 pohon. Terdapat 5 spesies yang hanya memiliki 1 individu, yaitu *P. montanum*, *C. tettragoma*, *P. venenosa*, *D. haseltii*, dan *S. spicata*. Spesies-spesies yang hanya ditemukan di aliansi 1 adalah *F. involucrata*, *K. cinera*, *F. lepicarpa*, *A. bunius*, *M. axima*, *F. elastica*, dan *F. variegata*. Spesies-spesies yang hanya ditemukan di aliansi 2 adalah *G. rubrum*, *G. macrophyllus*, *S. scanden*, *G. renghas*, *D. asper*, *G. pseudoarundinaceae*, *S. iraten*, dan *G. apus*. Pada penelitian ini juga ditemukan spesies-spesies pada strata pohon yang memiliki jumlah $\leq$ 1 individu ha^{-1}, yaitu sebanyak 27,77 % di aliansi 1, 35,22 % di aliansi 2, dan 12,5 % spesies - spesies yang ada di aliansi 3.

Prospek penelitian ini adalah dalam kajian ekologi vegetasi dimana melalui penelitian ini diketahui bahwa kawasan hutan sub pegunungan Gunung Salak memiliki spesies-spesies pohon dengan jumlah individu yang sagat sedikit dan juga spesies-spesies yang memiliki penyebaran terbatas. Hal ini membuat gunung Salak sebagai sebuah ekosistem sangat rentan terhadap gangguan, baik yang bersifat alami maupun antropogenik. Kajian ekologi yang terkait dengan spesies-spesies ini sangat diperlukan untuk menjaga keseimbangan ekologi di Gunung Salak.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Dephut (Departemen Kehutanan). 2003. *Telaga Warna*. http:// www. geocities. com/ bksda-jb1/ indeks-files/ photo-files/ tel-warna.htm. [22 Mei 2010].

[2] Yusuf, R. Purwaningsih., E.N. Sambas., & Ismail. 2003. Dinamika Perubahan Ekosistem Bagian Hulu Dan Tengah Das Cisadane *dalam Manajemen Bioregional Jabotabek: Tantangan dan Harapan.* Pusat Penelitian Biologi. LIPI, Bogor.

[3] Sandy, I.M. 1997. Karakteristik Iklim, Geomorfologi, dan tata Guna Lahan dari Gunung Gede-Pangrango Sampai Gunung Halimun *dalam Manajemen Bioregional. Taman Nasional Gunung Gede-Pangrango, Taman Nasional Gunung Halimun dan Gunung Salak.* Prosiding. Puslitbang Biologi-LIPI dan Program Studi Biologi Pascasarjana, Universitas Indonesia.

[4] Ehrlich, P.R. 1997. A World of Wound: *Ecology and The Human Dillemma.* Ecology Institut Oldendorf/Luhe, Germany.

[5] Lambin, E. F., M.D. A. Rousenvell., & H.J. Geist. 2000. Are Agricultural Land Use Models Able to Predict Changes? in *Land Use Intensity.* Agricultural, Ecosystem and Environment 82:321-331.

[6] Wiharto, M. 2009. *Klasifikasi Vegetasi Gunung Salak, Bogor, Jawa Barat*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

[7] Spies, T.A., & M.G. Tunner. 1999. Dynamic Forest Mosaic in *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystem*. Edited by Hunter, M.L, Jr. Cambridge University Press, Cambridge.

[8] Kerhaws, K.A. 1973. *Quantitative and Dynamic Plant Ecology*. 2nd. ed. The English Language Book Society and Edward Arnold (Publishers) Ltd, London.

[9] Kusmana, C .1989. *Phitososiologi Hutan Hujan Pegunungan Gn-Gede Pangrango, Jawa Barat.* Laporan Penelitian. Fahutan, IPB, Bogor.

[10] Daniel, W.W. 1987. *Biostatistics: A Foundation For Analysis in The Health Sciences*. 5 th. ed. John Wiley & Sons, New York.

[11] Cody, L.M. 1986. Diversity, Rarity, and Conservation in Mediteranean Climate Regions *in Conservation Biology, The Science of Scarcity and Diversity*. Edit by Soule, M.E. Sinaver Associates, Inc. Publisher, Sunderland.

[12] Whitten, T., R. E. Soeriatmadja., & S.A. Adif. 1996. *The Ecology of Java and Bali*. Periplus Edition, Singapore.

KEANEKARAGAMAN TANAMAN PISANG (*Musa* spp.) DI KABUPATEN PESAWARAN PROPINSI LAMPUNG

Martha L. Lande , Yulianty , Rita Puspitasari
Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brodjonegoro
No.1 Gedung Meneng, Bandar Lampung 35145 Telp. (0721) 71609 Fax. (0721) 704625

ABSTRAK

Lampung adalah salah satu sentra produksi pisang di Indonesia. Kabupaten Pesawaran merupakan pemasok pisang terbesar di Lampung. Pisang merupakan tanaman yang bermanfaat dalam kehidupan manusia dan organisme lainnya. Daun digunakan untuk pembungkus makanan, dan pakan ternak. Batangnya digunakan dalam upacara adat, misalnya upacara pernikahan, ketika mendirikan rumah, dan upacara keagamaan. Penelitian ini dilaksanakan dalam 2 tahap, tahap pertama yaitu pengambilan sampel di Kabupaten Pesawaran Propinsi Lampung dan tahap kedua yaitu pengamatan morfologi dan anatomi tanaman pisang di Laboratorium Botani Jurusan Biologi FMIPA Unila. Berdasarkan karakter yang diperoleh kemudian dilakukan pembuatan kunci determinasi. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari-Maret 2011. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keragaman jenis tanaman pisang (*Musa* spp.) di Kabupaten Pesawaran dan mengetahui karakter morfologi baik organ vegetatif maupun organ generatif serta anatomi daun dari jenis-jenis pisang tersebut. Hasil penelitian diperoleh 13 macam tanaman pisang dari 4 jenis pisang yaitu *Musa* spp, *Musa acuminata*, *Musa paradisiacal*, dan *Musa brachycarpa*. Morfologi organ vegetatif dan generatif maupun anatomi stomata dapat digunakan untuk karakterisasi jenis-jenis pisang.

Kata Kunci : keanekaragaman, kunci determinasi, dan stomata.

1 PENDAHULUAN

Pisang berasal dari kawasan Asia Tenggara kemudian menyebar ke Afrika, Amerika Selatan, dan Amerika Tengah. Di Indonesia hampir di seluruh tempat yaitu Pulau Jawa, Madura, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Bali, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua dapat ditemukan pohon pisang. Indonesia termasuk salah satu negara tropis yang memasok pisang segar atau pisang kering ke Jepang, Hongkong, China, Arab, Australia, Belanda, Amerika Serikat, dan Prancis [1]. Pisang mengandung vitamin A, vitamin B1, vitamin B2, vitamin C, lemak, karbohidrat, dekstrosa, air, sukrosa, selulosa, zat putih telur, zat tepung, dan mineral yaitu kalium, klor, natrium, magnesium dan fosfor [1].

Berdasarkan data jumlah produksi buah pisang di Indonesia pada tahun 2003, Lampung mencapai urutan ketiga yaitu sebanyak 319.081 ton per tahun [2]. Tahun 2006 produksi pisang meningkat yaitu sebanyak 535.731,6 ton per tahun [2]. Kemudian meningkat kembali pada tahun 2009 sebanyak 752. 122 ton per tahun [3].

Tahun 2006 daerah di Lampung yang memiliki produksi pisang terbesar yaitu Lampung Selatan sebesar 389.327,8 ton per tahun [4]. Namun, pada tahun 2009 Kabupaten Pesawaran memiliki jumlah produksi pisang terbesar di Lampung yaitu sebanyak 287.584,5 ton per tahun disusul Kabupaten Lampung Selatan sebanyak 232.528,8 ton per tahun [3]. Tingginya produksi pisang di Lampung juga menunjukkan tingginya keanekaragaman pisang yang terdapat di Lampung. Adapun penelitian tentang pisang cukup banyak dilakukan baik mengenai genetika, produktivitas, maupun taksonominya. Penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui karakter tanaman pisang umumnya mengenai struktur vegetatif dan generatif. Struktur generatif yang diamati berupa morfologi jantung pisang dan warna jantung pisang [5]. Sedangkan struktur perhiasan bunga, struktur putik dan benang sari belum banyak diteliti. Karakterisasi juga tidak hanya dilakukan pada bagian morfologi saja tetapi juga bagian anatomi. Salah satu karakterisasi anatomi yang dapat digunakan untuk identifikasi adalah anatomi stomata.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama yaitu pengambilan sampel dan data yang dilakukan di Kabupaten Pesawaran, Lampung. Sedangkan tahap kedua yaitu pengamatan morfologi dan anatomi tanaman pisang yang dilakukan di Laboratorium Botani Jurusan Biologi FMIPA Unila. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai bulan Maret 2011. Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat tulis, meteran, label gantung, kertas label, kamera, timbangan, mikroskop, kaca benda, kaca penutup, kaca pembesar, silet, *beaker glass*, pipet, plastik, kertas koran, termometer tanah dan udara, alat-alat bedah, mistar, higrometer, mikrometer objektif dan okuler. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun pisang, bunga pisang, buah pisang, gliserin, safranin, aquades, tisu, dan kutek.

Metode pengambilan sampel dalam penelitian ini yaitu dengan metode jelajah. Pengambilan sampel dilakukan di beberapa kecamatan di daerah Pesawaran yaitu kecamatan Tegineneng, Padang Cermin, dan Gedong Tataan. Sampel yang diambil meliputi daun pisang bagian ketiga (dari yang paling muda), bunga dan buah pisang. Selain itu, untuk mendukung data primer juga dibutuhkan data sekunder yaitu suhu udara, suhu tanah dan kelembaban udara. Pengamatan meliputi: morfologi batang semu, daun, bunga, dan buah, serta pengamatan anatomi stomata.

Perhitungan Indeks Stomata

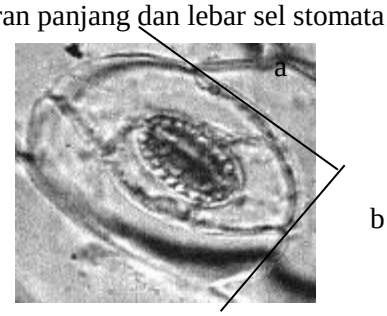
Menurut Soerodikoesoemo (2006) dalam Penuntun Paraktikum Miktoteknik Tumbuhan (2006) Indeks stomata (IS) dapat dihitung berdasarkan formula sebagai berikut

$$IS = \frac{S}{S+E} \times 100\%$$

dengan:

S = jumlah stomata E = jumlah epidermis

Pengukuran panjang dan lebar sel stomata dilakukan dengan cara yaitu.



Gambar 1 Cara pengukuran panjang dan lebar sel stomata [6].

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa ciri morfologi batang semu, daun, bunga, buah, dan parameter lingkungan tanaman pisang. Nama ilmiah yang diberikan berdasarkan dalam jurnal biodiversitas "Keanekaragaman Tanaman Buah di Pekarangan Desa Jabon Mekar, Kecamatan Parung, Bogor" [7]. Hasil penelitian yang telah dilakukan di Kabupaten Pesawaran diperoleh 13 macam tanaman pisang yang terdiri dari empat jenis yaitu 1) *Musa* spp. yaitu pisang kidang, pisang penjalin, dan pisang brayut ; 2) *Musa acuminata* yaitu pisang muli, pisang mas dan pisang ambon; 3*) Musa paradisiaca* yaitu pisang tanduk, pisang janten, pisang kepok kuning, pisang raja, pisang raja nangka, dan pisang raja sere, dan 4) *Musa brachycarpa* yaitu pisang batu.

Morfologi Batang Semu Pisang (*Musa* spp.)

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan terhadap morfologi batang semu tanaman pisang yang ditemukan menunjukkan nilai rata-rata yang bervariasi dari tiap jenis (Tabel 1).

Tabel 1 Morfologi Batang Semu Pisang (*Musa* spp.)

No.	Jenis Pisang	Tinggi Batang Semu (cm)	Lingkar Batang Semu (cm)
1	Kidang	250-301	41,5-46
2	Penjalin	257-321	35,6-48,2
3	Brayut	357-398	44-51
4	Muli	178-247	27-35
5	Mas	**163-238**	**26-34,5**
6	Ambon	432-465	68,6-72
7	Tanduk	362-423	48-53,6
8	Janten	239-340	41-60
9	Kepok Kuning	327-456	61,3-69
10	Raja	358-521	**62-83**
11	Raja Nangka	309-405	42-80
12	Raja Sere	277-455	40,2-79
13	Batu	**540-592**	68-89

Jenis pisang yang terpendek batang semunya adalah pisang mas berkisar antara 163-238 cm, sedangkan pisang yang paling tinggi adalah pisang batu berkisar antara 540-592 cm. Jenis pisang yang lingkar batang semunya terkecil yaitu pisang mas berkisar antara 26-34,5 cm, sedangkan pisang yang memiliki lingkar batang terbesar adalah pisang raja berkisar antara 62-83 cm.

Morfologi Helaian Daun Pisang (*Musa* spp.)

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa panjang helaian daun pisang antara jenis pisang yang satu dengan jenis lainnya bervariasi (Tabel 2).

Jenis pisang dengan helaian daun terpanjang terdapat pada pisang kepok kuning berkisar 314-347 cm. Sedangkan jenis pisang dengan helaian daun terpendek terdapat pada pisang mas berkisar 151-189,4 cm. Jenis pisang dengan helaian daun terlebar yaitu pisang kepok kuning sebesar 77,2-82,2 cm. Sedangkan jenis pisang dengan lebar helaian daun tersempit pada pisang mas sebesar 46,4-54 cm.

Tabel 2 Morfologi Helaian Daun Pisang (*Musa* spp.)

No.	Jenis Pisang	Panjang Daun (cm)	Lebar Daun (Cm)	Bentuk Pangkal Daun	Bentuk Ujung Daun
1	Kidang	201-219	57-62	Simetris	Tumpul
2	Penjalin	205,3-223	48,4-58	Simetris	Tumpul
3	Brayut	219,5-254	69-73	Asimetris	Tumpul
4	Muli	185-197	55-60	Simetris	Membulat
5	Mas	**151-189,4**	**46,4-54**	Simetris	Membulat
6	Ambon	296-345,8	77-80,4	Asimetris	Tumpul
7	Tanduk	221-267	68-75,2	Asimetris	Tumpul
8	Janten	203-283	48,1-84	Asimetris	Tumpul
9	Kepok Kuning	**314-351**	**74-82,2**	Simetris	Tumpul
10	Raja	294-319	68,1-75	Asimetris	Tumpul
11	Raja Nangka	193-234	55-60,8	Asimetris	Tumpul
12	Raja Sere	210-273	60,9-66	Asimetris	Tumpul
13	Batu	194,6-298	74-81	Asimetris	Tumpul

Morfologi Bunga Pisang (*Musa* spp.)

Bunga pisang antara jenis pisang yang ditemukan bervariasi baik dari jumlah bunga, ukuran dan warna tepala bunga, panjang benang sari maupun putik. Bagian-bagian bunga yang diamati adalah panjang tepala yang berlekatan, lebar tepala yang berlekatan, panjang tepala yang lepas, lebar tepala yang lepas, warna tepala yang berlekatan, warna tepala yang lepas, panjang benang sari serta panjang putik. Perhiasan bunga berupa tepala yang berjumlah lima cuping yang saling berlekatan dan satu tepala yang lepas. Untuk tepala yang berlekatan umumnya berwarna bening dengan bagian ujung cuping bergerigi dan berwarna kuning. Namun untuk pisang raja ujung tepala yang berlekatan berwarna oranye. Tepala yang lepas, warnanya pun bening, lebih tipis serta bagian ujung yang runcing.

Morfologi Buah Pisang (*Musa* spp.)

Hasil pengamatan terhadap morfologi buah menunjukkan adanya variasi pada variabel yang diamati. Jenis pisang yang memiliki sisir paling banyak yaitu pisang kepok kuning sebanyak 17 sisir, sedangkan yang paling sedikit adalah pisang tanduk sebanyak 2 sisir. Jenis pisang yang memiliki sisir paling banyak yaitu pisang penjalin dan pisang mas sebanyak 22 buah, sedangkan yang paling sedikit adalah pisang tanduk sebanyak 10 buah. Jenis pisang yang memiliki berat buah terberat yaitu pisang tanduk sebesar 350 gram,

sedangkan yang paling ringan adalah pisang penjalin sebesar 50 gram. Jenis pisang yang memiliki panjang buah terpanjang yaitu pisang tanduk sepanjang 35 cm, sedangkan yang terpendek adalah pisang mas sepanjang 9,8 cm. Jenis pisang yang memiliki lingkar buah terbesar yaitu pisang tanduk sebesar 16,9 cm, sedangkan yang terkecil adalah pisang muli sebesar 10 cm. Permukaan Tandan halus: pisang tanduk, kepok kuning, raja sere, raja, dan brayut. Berambut: pisang muli, janten, raja nangka, ambon, penjalin, batu, mas, dan kidang.

Anatomi Stomata

Pengamatan terhadap anatomi stomata yang meliputi jumlah stomata, panjang dan lebar stomata, jumlah epidermis, serta indeks stomata di kedua permukaan daun yaitu permukaan atas dan bawah. Jumlah stomata permukaan atas dan bawah berbeda. Semua jenis pisang memiliki jumlah stomata pada permukaan atas lebih sedikit daripada jumlah stomata di permukaan bawah. Pada permukaan atas jenis pisang yang memiliki jumlah stomata terbanyak yaitu pisang muli dengan jumlah 197 stomata per mm^2, sedangkan untuk permukaan bawah adalah pisang raja nangka dengan jumlah sebesar 704 stomata per mm^2. Ukuran panjang dan lebar stomata antara permukaan atas dan bawah mempunyai kisaran nilai yang hampir sama. Untuk stomata pada permukaan atas memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan ukuran stomata di permukaan bawah. Pada permukaan atas jenis pisang yang memiliki ukuran stomata terpanjang yaitu pisang raja dan pisang raja nangka dengan panjang sebesar 32,52 µm. Jenis pisang yang memiliki ukuran stomata terlebar yaitu pisang ambon dan pisang tanduk dengan lebar sebesar 28,47 µm. Sedangkan pada permukaan bawah jenis pisang yang memiliki ukuran stomata terpanjang yaitu pisang ambon dengan panjang sebesar 30,08 µm. Jenis pisang yang memiliki ukuran stomata terlebar yaitu pisang ambon dengan lebar sebesar 28,47 µm. Indeks stomata pada permukaan atas lebih kecil daripada permukaan bawah. Nilai indeks stomata ini diperoleh dari perbandingan jumlah stomata dengan jumlah stomata ditambah jumlah epidermis. Pada permukaan atas jenis pisang yang memiliki indeks stomata terbesar yaitu pisang janten dan pisang ambon dengan indeks stomata 7,7 %. Sedangkan pada permukaan bawah jenis pisang yang memiliki indeks stomata terbesar yaitu pisang brayut dengan indeks stomata sebesar 25,7 %.

4 KESIMPULAN

Pisang yang ditemukan di Kabupaten Pesawaran ada 13 macam yang terdiri dari empat jenis yaitu *Musa* spp., *Musa acuminata, Musa paradisiaca,* dan *Musa brachycarpa*. Morfologi organ vegetatif dan generatif maupun anatomi stomata dari tanaman pisang dapat dijadikan sebagai ciri dari jenis-jenis pisang.

Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terimakasih kepada Bobby dan Rita, mahasiswa yang telah membantu dalam penelitian ini, serta DIKTI yang telah memberikan bantuan dana dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Prahasta, Arif. 2009.*Budidaya Pengolahan Agribisnis Pisang*. Pustaka Grafika. Bandung.

[2] Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jenderal Bina Produksi Hortikultura. 2003. *Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Pisang.*

[3] Badan Pusat Statistik Republik Indonesia. 2006. *Tabel Produksi Pisang, Nanas dan Jeruk Siam/Keprok menurut Kabupaten/Kota, 2006*.

[4] Ashari S. 1995. *Hortikultura Aspek Budidaya.* UI Press. Jakarta.

[5] Kusumawati, Aries dan L. Syukriani. 2008. *Identifikasi dan Karakterisasi Morfologi Genotife Pisang (Musa Paradisiaca, L.) di Kabupaten Agam Propinsi Sumatera Barat*. Universitas Andalas. Padang. Jurnal Jerami Vol. 1 (2)

[6] Damayanti, Fitri. 2007. *Analisis Jumlah Kromosom dan Anatomi Stomata pada Beberapa Plasma Nutfah Pisang (Musa Sp.) Asal Kalimantan Timur*. http://bioscientiae.unlam.ac.id/v4n2/v4n2_damayanti.pdf. Jurnal bioscietiae vol 4 (2) Hal. 53-61. Diakses 18 September 2010.

[7] Prasetyo, Budi. 2007. *Keanekaragaman Tanaman Buah di Pekarangan Desa Jabon Mekar, Kecamatan Parung, Bogor*. Jurnal Biodiversitas Vol. 8

PENINGKATAN RAGAM GENETIK TANAMAN PADI GOGO DALAM UPAYA MENDUKUNG SWASEMBADA BERAS BERKELANJUTAN

Ali Husni dan Ifa Manzila
Balai Besar Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian Jl. Tentara Pelajar No. 3a
Kampus Penelitian Pertanian Cimanggu - Bogor 16111. Telp. 0251-8337975
E-mail: ali_houzni@yahoo.com

ABSTRAK

Salah satu tantangan utama dalam peningkatan ketahanan pangan khususnya beras adalah rendahnya produktivitas. Untuk meningkatkan produksi beras di Indonesia, pengembangan padi gogo merupakan alternatif kedua setelah padi sawah. Sementara dalam pengembangan padi gogo itu sendiri dihadapkan pada berbagai kendala. Metoda induksi mutasi menggunakan radiasi sinar gamma merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan varietas padi gogo yang unggul. Metode ini telah mempunyai peranan penting dalam meningkatkan produksi padi di Asia Pasifik. Percobaan Induksi mutasi sinar gamma telah dilakukan kepada benih padi gogo varietas Fulan Telo Gawa dengan dosis 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 dan 1000 Gy. Radiasi dilakukan di PATIR-BATAN, Pasar Jum'at dengan tujuan untuk menentukan radiosensitivitas, LD50 dan untuk mendapatkan mutan positif dari padi gogo. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa pengaruh pemberian radiasi tidak memperlihatkan pola yang jelas terhadap kemampuan daya berkecambah sehingga tidak bisa ditentukan radiosensitivitas dan LD50nya. Pada fase vegetatif tidak memperlihatkan adanya efek yang nyata terhadap banyaknya jumlah anakan antara tanaman M1 dengan kontrol, tetapi memperlihatkan efek yang nyata terhadap tinggi tanaman. Tanaman M1 ada yang lebih tinggi dan ada yang lebih pendek dari tanaman kontrol. Dosis 900 Gy menyebabkan tanaman M1 lebih pendek (91.95 cm) dan dosis 200 Gy menyebabkan tanaman lebih tinggi (122.3 cm). Pada fase generatif memperlihatkan efek yang berbeda terhadap panjang malai dan jumlah gabah. Panjang malai tanaman M1 pada umumnya tidak berbeda nyata kecuali tanaman M1 dari 100, 500, 800 dan 1000 Gy nyata lebih pendek. Demikian juga halnya terhadap banyaknya jumlah gambah per malai umumnya menurun kecuali dari 100, 200, 400 dan 600 Gy. Pengaruh radisi dosis 200 Gy menghasilkan gabah isi paling banyak (97.95) dan paling sedikit dari 900 Gy (55.95). Pemberian radiasi tidak memperlihatkan efek terhadap penampakan warna daun ,batang dan gabah.

Kata kunci: Padi gogo, induksi mutasi, sinar Gamma, dan keragaman genetik

1 PENDAHULUAN

Pembangunan pertanian di Indonesia, yang salah satu tujuan utamanya adalah meningkatkan ketahanan pangan khususnya beras, akan dihadapkan kepada berbagai masalah dan tantangan yang makin kompleks. Kementerian pertanian menetapkan empat target utama pada priode 2010-2014, yaitu pencapaian swasembada dan swasembada berkelanjutan;

peningkatan diversifikasi pangan; peningkatan nilai tambah, daya saing, dan ekspor; dan peningkatan kesejahteraan petani. Untuk tanaman padi, tujuan yang hendak dicapai adalah mengamankan swasembada padi atau beras secara berkelanjutan dimana sasaran produksi padi tahun 2014 sebanyak 78,8 juta ton gabah kering giling (GKG) [1]

Salah satu tantangan utama dalam peningkatan ketahanan pangan khususnya beras adalah rendahnya produktivitas dan adanya serangan penyakit yang dapat menyebabkan kegagalan panen di berbagai daerah sehingga produktivitas padi menurun. Selain itu, pertanaman padi sawah juga semakin sempit karena lahan yang biasanya ditanami padi beralih fungsi menjadi pemukiman dan industri. Salah satu cara untuk mengatasi masalah dalam pengembangan tanaman padi secara efisien dan epektif adalah dengan merakit varietas baru yang mampu berproduksi tinggi dan tahan terhadap hama, penyakit serta cekaman abiotik.

Untuk meningkatkan produksi beras di Indonesia, pengembangan padi gogo merupakan alternatif kedua setelah padi sawah. Sementara dalam pengembangan padi gogo itu sendiri dihadapkan pada berbagai kendala yang disebabkan antara lain adanya serangan penyakit blas (*Pyricularia oryzae*). Keragaman genetik merupakan salah satu syarat yang perlu dimiliki untuk merakit suatu varietas/kultivar unggul tanaman padi. Beberapa cara yang dapat diterapkan untuk meningkatan keragaman genetik pada tanaman dapat dilakukan dengan persilangan dengan spesies tertentu, melakukan mutasi buatan, penerapan metode transformasi atau melakukan fusi protoplas [2].

Induksi mutasi merupakan cara yang cepat untuk meningkatkan variabilitas genetik suatu spesies dan telah banyak digunakan dalam peningkatan keragaman genetik pada beberapa tanaman [3]. Keragaman genetik dapat diinduksi dengan pemberian mutagen fisik ataupun mutagen kimia. Beberapa pelakuan yang dapat digunakan untuk menginduksi terjadinya mutasi adalah perlakuan fisik dengan cara penyinaran dengan sinar gamma atau perlakuan kimiawi dengan perendaman dalam larutan EMS.

Metode induksi mutasi ini telah mempunyai peranan penting dalam meningkatkan produksi padi di Asia Pasifik [4]. Kurang lebih 434 mutan padi telah dilepas dengan karakter yang lebih baik seperti tanaman yang lebih pendek, masak lebih cepat, hasil gabah lebih baik, dan tahan penyakit. Secara global pemuliaan tanaman dengan teknik mutasi telah menghasilkan banyak varietas tanaman. Sejak tahun 1976 hingga 1996 perkembangan

perolehan varietas mutan tanaman sangat pesat dan pada tahun 2000 tercatat sebanyak 2252 varietas mutan. Sebagian besar varietas mutan tanaman dihasilkan dari benua Asia, Eropa dan Amerika. Varietas mutan tanaman paling banyak dihasilkan adalah dari jenis tanaman biji-bijian (serelia), kacang-kacangan, tanaman industri, dan tanaman sayuran. Khusus tanaman serelia, varietas mutan tanaman padi paling banyak dihasilkan, kemudian disusul tanaman barley dan gandum. Negara yang paling banyak menghasilkan varietas mutan tanaman adalah Cina (26.8%), USSR dan Rusia (9.3%), Netherland (7.8%), USA (5.7%) dan Jepang (5.3%) [5].

Penelitian dilakukan untuk melihat efek radiasi terhadap pertumbuhan benih padi gogo (*Oryza sativa*), varietas lokal "*Fulan telo gawa* dalam upaya meningkatkan ragam genetiknya.

2 METODOLOGI

Bahan tanaman yang digunakan adalah benih padi gogo (*Oryza sativa*), varietas lokal "*Fulan telo gawa*". Induksi mutasi dilakukan dengan radiasi Gamma di PATIR-BATAN, Pasar Jum'at Jakarta Selatan. Percobaan di rancang mengikuti pola Rancangan Acak Lengkap dengan perlakuan dosis radiasai sebesar 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 dan 1000 Gy. Benih dari setiap perlakuan radiasi yang ditanam adalah sebanyak 20 benih sehingga diperoleh total benih yang ditanam sebanyak 220 butir. Benih yang telah diradiasi dikecambahkan secara *in vitro* pada cawan petri yang telah berisi kapas dan air.

Semua benih yang berkecambah dan dapat tumbuh dan berkembang dipindahkan ke lapang untuk ditanam dan diamati lebih lanjut perbedaan akibat pemberian radiasi terhadap persentase keberhasilan hidup setelah ditanam di lapang, komponen pertumbuhan seperti jumlah anakan, tinggi tanaman, panjang malai, jumlah gabah hampa dan isi serta penampakan visual tanaman di lapang dengan cara membandingkan warna dari daun dan batang. Pemeliharaan dilakukan dengan cara standar pemeliharaan pertanaman padi gogo. Untuk menghindari serangan hama dan penyakit, pertanaman dinaungi dengan paranet.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penyemaian benih M0 setelah radiasi

Pengaruh perlakuan dosis radiasi terhadap kemampuan berkecambah dari benih yang diperlakukan dengan radiasi sinar Gamma (0. 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800,

900 dan 1000 Gy) pada fase vegetatif secara umum tidak memperlihatkan adanya perbedaan (Tabel 1).

Tabel 1 Jumlah dan persentase tanaman hidup setelah disemaikan (4 minggu setelah semai)

Dosir Radiasi (Gy)	Jumlah Benih Berkecambah	Tanaman Hidup (%)
0	22	91.67
100	18	75.00
200	22	91.67
300	21	87.50
400	20	83.33
500	20	83.33
600	24	100.00
700	20	83.33
800	23	95.03
900	21	87.50
100	20	83.33

Dari Tabel 1 tersebut dapat dilihat bahwa besarnya kemampuan hidup dari setiap perlakuan bukan disebabkan oleh efek radiasi dari sinar Gamma yang diberikan. Hal ini dapat dilihat dari jumlah benih yang hidup pada perlakuan 0 Gy (kontrol) hanya sebesar 91.67%, sedangkan pada perlakuan radiasi, kemampuan hidupnya ada yang lebih tinggi, yaitu 100% pada perlakuan 600 Gy dan 95.03% dari perlakuan 800Gy. Selain itu, penyinaran dengan dosis rendah (100 Gy) justru memperlihatkan kemampuan hidup lebih rendah (75%) dibandingkan dosis yang lebih tinggi. Hal ini jelas memperlihatkan bahwa besarnya kemampuan hidup benih setelah diradiasi bukan disebabkan oleh perlakuan penyinaran sinar Gamma, akan tetapi dapat disebabkan oleh kondisi benih yang digunakan, seperti kadar air benih. Respon sel tanaman terhadap mutagen fisik dan kimia dipengaruhi oleh faktor lingkungan,biologi dan kimia [6]. Dalam hal ini, faktor-faktor tersebut mempengaruhi efektivitas dan efisiensi radio sensitivitas dari sinar Gamma yang diberikan.

Penampakan visual tanaman dari benih yang disemai setelah dilakukan radiasi tidak memperlihatkan adanya perbedaan dibandingkan kontrol baik dalam hal warna daun maupun batang serta hampir pada semua karakteristik fenotipe yang ada. Akan tetapi terlihat adanya perbedaan dalam hal tinggi tanaman yang disebabkan oleh ketidak serempakan benih berkecambah setelah di semai di cawan petri dan pertanaman di rumah kaca (Gambar 1). Ketidak seragaman benih berkecambah dapat disebabkan oleh kondisi benih yang digunakan

sehingga respon dari setiap benih berbeda-beda terhadap radiasi dan besarnya dosis radiasi yang diberikan. Selain itu, ketidak seragaman waktu benih berkecambah dapat disebabkan karena benih yang dikecambahkan tidak direndam terlebih dahulu dimana perkecambahan benih dipengaruhi oleh tersedianya air, suhu dan udara. Perendaman benih padi selama 24 jam sebelum disemai memberikan hasil yang lebih baik karena masuknya air ke dalam benih dapat mudah dan merata sehingga lebih seragam [7]. Semakin banyak kadar oksigen dan molekul air (H_2O) dalam materi yang diiradiasi, maka akan semakin banyak pula radikal bebas yang terbentuk sehingga tanaman menjadi lebih sensitif [8].

Gambar 1 Penampakan visual dari tanaman M1 hasil perkecambahan benih pada fase vegetatif setelah disemai di rumah kaca (A=Fase perkecambahan, B=fase bibit, C= di lapang, dan D=fase generatif).

Pola perkecambahan benih padi 3 varietas yang diberi perlakuan radiasi sinar Gamma, memperlihatkan penurunan kemampuan berkecambah yang tidak proporsional dengan peningkatan dosis radiasi yang diberikan [9].

.

3.2 Evaluasi generasi M1 di lapang

Fase vegetatif

Tanaman yang hidup dari semua perlakuan di rumah kaca ditanam di lapang untuk mengevalusi lebih lanjut apakah ada pengaruh pemberian radiasi sinar Gamma terhadap benih yang digunakan. Pengaruh radiasi terhadap komponen morfologi tanaman padi seperti banyaknya jumlah anakan dan tinggi tanaman pada generasi M1 dapat meningkat atau menurun. Induksi mutasi menggunakan sinar Gamma pada padi gogo varietas Gajah Mungkur menghasilkan anakan yang lebih banyak dibandingkan kontrol [10].

Berdasarkan analisa sidik ragam terhadap komponen agronomi rata-rata jumlah anakan pada tanaman M1 tidak berbeda nyata, sedangkan pada rata-rata tinggi tanaman berbeda nyata (Tabel 2). Berdasarkan rata-rata jumlah anakan yang dihasilkan, secara umum diperoleh bahwa semakin tinggi dosis radiasi maka semakin banyak pula jumlah anakan dari setiap perlakuan, kecuali perlakuan 300 Gy. Peningkatan jumlah anakan dimulai dari perlakuan 100 sampai 1000 Gy. Jumlah anakan paling banyak berasal dari perlakuan 900 Gy sebanyak 12.6 batang. Kemudian disusul dari perlakuan 200 dan 500 Gy sebanyak 12.5 batang.

Tabel 2 Pengaruh radiasi sinar Gamma terhadap jumlah anakan dan tinggi tanaman, umur 3 bulan setelah tanam

Dosis Radiasi (Gy)	Rata-Rata Jumlah Anakan (rumpun)	Rata-Rata Tinggi Tanaman (Cm)
0	9.30 a	116.000 bcd
100	9.70 a	120.800 abc
200	12.50 a	123.400 ab
300	9.00 a	118.300 bcd
400	11.50 a	**126.800 a**
500	12.50 a	119.300 abcd
600	10.00 a	113.200 cd
700	9.20 a	111.500 d
800	9.80 a	119.000 abcd
900	12.60 a	124.100 ab
1000	10.90 a	119.100 abcd

Keterangan: Untuk masing-masing dosis, data dengan huruf yang sama dalam kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan pada α=0.05.

Dari tabel 2 dapat dilihat adanya perbedaan yang nyata dari tinggi tanaman dibandingkan kontrol berdasarkan uji lanjut dengan Duncan. Rata-rata tinggi tanaman yang diberi perlakuan radiasi ada yang lebih tinggi dan ada yang lebih pendek. Tanaman yang

lebih pendek berasal dari 600 dan 700 Gy, yaitu 113.2 dan 111.5 cm. Sedangkan tinggi tanaman yang berasal dari dosis lainnya semuannya lebih tinggi dari pada tanaman kontrol. Tanaman paling tinggi berasal dari perlakuan radiasi 400 Gy dengan tinggi 126.8 cm, diikuti oleh 900 Gy dengan tinggi 124.1 cm dan 200 Gy setinggi 123.4 cm. Sedangkan tanaman yang paling pendek berasal dari perlakuan radiasi 700 Gy setinggi 111.5 cm, diikuti oleh radiasi 600 Gy setinggi 113.2 cm. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian [10] dimana tinggi tanaman somaklon dari hasil penyinaran dengan sinar Gamma lebih pendek dari pada kontrol, dimana pada penyinaran dengan dosis 200 Gy dapat menghasilkan tanaman yang pendek, hanya 75 cm. Hal ini diduga disebabkan oleh aktivitas zat pengatur tumbuh GA atau IAA yang berperan dalam pembelahan dan pemanjangan sel terhambat sehingga tanaman menjadi lebih pendek.

Fase generatif

Berdasarkan analisa sidik ragam terhadap komponen agronomi panjang malai pada tanaman M1 berbeda nyata dibanding kontrol. Demikian juga halnya banyaknya jumlah gabah. Penampakan visual pertanaman M1 di lapang dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil uji lebih lanjut dengan Duncan menunjukkan bahwa panjang malai dari perlakuan dosis radiasi 100, 500 dan 800 Gy berbeda nyata dibandingkan kontrol, sedangkan panjang malai dari dosis radiasi yang lainnya tidak berbeda nyata dibandingkan kontrol (Tabel 3). Panjang malai paling tinggi berasal dari tanaman hasil perlakuan 200 Gy yaitu 38.07 cm, sedangkan panjang malai tanaman kontrol adalah 38.00 cm. Ukuran malai paling pendek adalah 34.25 cm yang berasal dari perlakuan 500 Gy.

Hasil uji lebih lanjut dengan Duncan menunjukkan bahwa panjang malai dari perlakuan dosis radiasi 100, 500 dan 800 Gy berbeda nyata dibandingkan kontrol, sedangkan panjang malai dari dosis radiasi yang lainnya tidak berbeda nyata dibandingkan kontrol (Tabel 3). Panjang malai paling tinggi berasal dari tanaman hasil perlakuan 200 Gy yaitu 38.07 cm, sedangkan panjang malai tanaman kontrol adalah 38.00 cm. Ukuran malai paling pendek adalah 34.25 cm yang berasal dari perlakuan 500 Gy.

Bila dilihat dari banyaknya jumlah gabah yang dihasilkan, jumlah gabah dari tanaman hasil perlakuan 100, 200, 400 dan 600 Gy tidak berbeda nyata dibandingkan dengan kontrol, sedangkan jumlah gabah dari tanaman hasil perlakuan 300, 500, 700, 800, 900 dan

1000 Gy berbeda nyata dibandingkan kontrol. Jumlah gabah paling banyak berasal dari tanaman hasil perlakuan 400 Gy, yaitu sebanyak 125.6 butir dan berbeda nyata dibanding kontrol . Kemudian diikuti oleh perlakuan 200, Gy, yaitu sebanyak 122.3 butir walaupun tidak berbeda nyata dengan kontrol. Banyaknya jumlah gabah dari perlakuan yang lainnya berada di bawah kontrol. Sedangkan jumlah gabah paling sedikit berasal dari perlakuan radisi 900 Gy, yaitu 91.95 butir dan berbeda nyata dengan kontrol. Bila dilihat dari banyaknya jumlah gabah yang dihasilkan, jumlah gabah dari tanaman hasil perlakuan 100, 200, 400 dan 600 Gy tidak berbeda nyata dibandingkan dengan kontrol, sedangkan jumlah gabah dari tanaman hasil perlakuan 300, 500, 700, 800, 900 dan 1000 Gy berbeda nyata dibandingkan kontrol. Jumlah gabah paling banyak berasal dari tanaman hasil perlakuan 400 Gy, yaitu sebanyak 125.6 butir dan berbeda nyata dibanding kontrol . Kemudian diikuti oleh perlakuan 200, Gy, yaitu sebanyak 122.3 butir walaupun tidak berbeda nyata dengan kontrol. Banyaknya jumlah gabah dari perlakuan yang lainnya berada di bawah kontrol. Sedangkan jumlah gabah paling sedikit berasal dari perlakuan radisi 900 Gy, yaitu 91.95 butir dan berbeda nyata dengan kontrol.

Tabel 3 Banyaknya jumlah gabah dan panjang malai dari tanaman M1 hasil radisi sinar Gamma

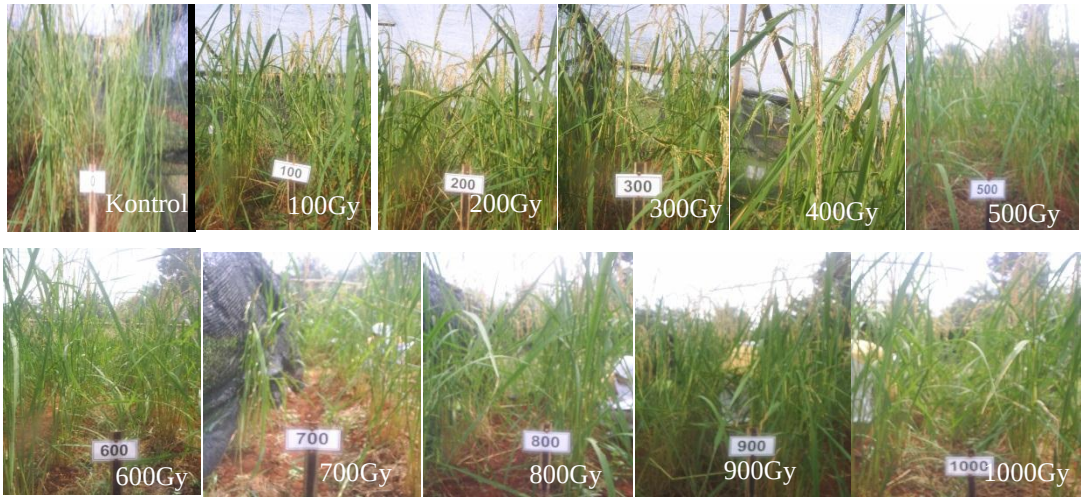
Dosis Radiasi (Gy)	**Panjang Malai (cm)**	Jumlah Gabah (per malai)
0	38,00 ab	117,25 a
100	36,10 b	114,65 a
200	38,07 ab	122,3 a
300	37,32 ab	110,8 ab
400	37,27 ab	125,60 a
500	34,25 b	105,30 ab
600	37,46 ab	119,25 a
700	37,04 ab	109,70 ab
800	35,25 b	112,3 ab
900	37,27 ab	91,95 b
1000	36,41 b	111,6 ab

Keterangan: Untuk masing-masing dosis, data dengan huruf yang sama dalam kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan pada α=0.05.

Berdasarkan jumlah gabah secara umum dapat dikatakan bahwa semakin besar dosis radiasi yang diberikan maka semakin sedikit jumlah gabah yang dihasilkan. Sedangkan untuk

panjang malai, polanya sangat beragam dimana diantara perlakuan dosis ada yang lebih panjang dan ada juga yang lebih pendek, walaupun ada yang menunjukkan jumlah gabah yang nyata meningkat dan nyata menurun dibandingkan dengan kontrol. Adanya penurunan dan kenaikan jumlah gabah yang dihasilkan disebabkan oleh respon dari benih yang diradiasi terhadap dosis sinar gamma yang diterima. Selain itu juga dipengaruhi oleh interaksi antara perlakuan radiasi dengan lingkungan. Penampakan visualnya pada fase pemasakan dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengaruh dosis radiasi juga berpengaruh nyata diantara perlakuan terhadap jumlah gabah isi dan jumlah gabah hampa (Tabel 4). Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin besar dosis radiasi maka semakin menurun jumlah gabah isi yang dihasilkan, kecuali pada perlakuan 200 Gy (97.95 butir) memberikan gabah isi nyata lebih banyak dibanding kontrol (88.60 butir). Sedangkan jumlah gabah isi yang dihasilkan dari tanaman yang diperlakukan dengan diosis lainnya ada yang tidak berbeda nyata dengan kontrol (200, 300, 400, 600, 700 dan 900 Gy) dan ada pula yang nyata lebih sedikit jumlah gabah isi yang dihasilkan (800 Gy).



Gambar 2 Penampakan visual pertanaman M1 di lapangan pada fase pemasakan (kontrol, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, dan 1000 Gy).

Tabel 4 Jumlah gabah isi dan jumlah gabah hampa dari tanaman M1 hasil radisi sinar Gamma

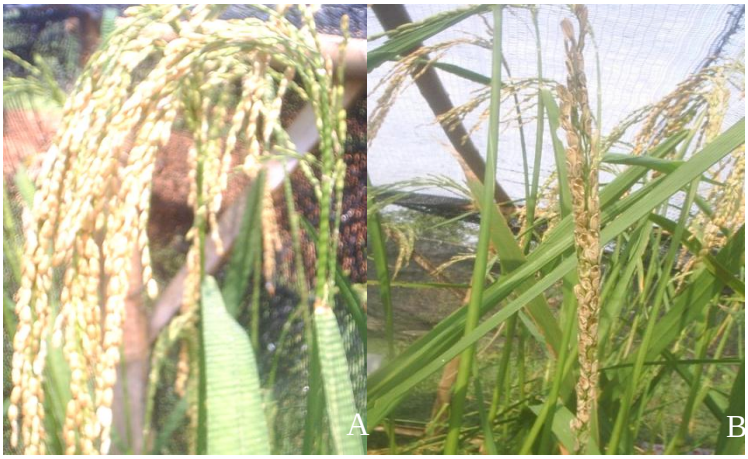
Dosis Radiasi (Gy)	Jumlah Gabah isi (Butir)	Jumlah Gabah hampa (Butir)
0	88.60 ab	24.65 ab
100	80.65 ab	33.90 ab
200	97.95 a	23.35 b
300	65.85 bc	39.95 ab
400	84.5 ab	41.05 ab
500	72.30 bc	33.00 ab
600	80.40 ab	38.54 ab
700	78.35 abc	31.35 ab
800	68.00 bc	44.30 a
900	55.95 c	36.00 ab
1000	76.05 abc	35.55 ab

Keterangan: Untuk masing-masing dosis, data dengan huruf yang sama dalam kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan pada α=0.05.

Bila dilihat dari banyaknya jumlah gabah hampa yang dihasilkan dari semua perlakuan radiasi. Jumlah gabah hampa paling sedikit juga berasal dari tanaman yang dihasilkan dari dosis 200 Gy dan berbeda nyata dengan kontrol. Jumlah gabah hampa yang dihasilkan adalah sebanyak 23.35 pada 200 Gy dan 24.65 butir dari kontrol. Sedangkan jumlah gabah hampa yang dihasilkan dari perlakuan dosis radiasi yang lainnya lebih banyak dibanding kontrol, ada yang berbeda nyata dan ada pula yang tidak berbeda nyata. Jumlah gabah hampa paling banyak berasal dari tanaman yang diperlakukan dengan dosis 800 Gy yaitu 44.3 butir.

Bila dihubungkan antara banyaknya jumlah gabah isi dengan banyaknya jumlah biji hampa tidak dapat dikatakan bahwa semakin banyak jumlah gabah isi maka semakin sedikit pula jumlah gabah hampanya. Hal ini dapat dilihat dari tanaman yang dihasilkan dari perlakuan 900 Gy merupakan jumlah yang paling sedikit gabah isinya, akan tetapi jumlah gabah hampa paling banyak justru berasal dari tanaman yang diperlakukan dengan radisi 800 Gy. Wana gabah yang berisi dengan yang hampa berbeda, gabah isi warnanya kuning ke emasan dan gabah hampa berwarna kuning keputihan. Selain itu bentuk malainya juga

berbeda dimana malai yang mempunyai banyak gabah hampa malainya tegak sedangkan malai yang benyak mempunyai banyak gabah isi bentuknya melengkung kebawah karena lebih berat (Gambar 3).



Gambar 3 Penampakan gabah isi (A) dan gabah hampa (B) hasil pertanaman M1 di lapangan

4 KESIMPULAN

Pengaruh pemberian radiasi 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 dan 1000 Gy pada benih padi gogo varietas *Fulan Telo Gawa* tidak memperlihatkan pola yang jelas terhadap kemampuan daya berkecambah sehingga tidak bisa ditentukan radiosensitivitas dan LD50nya. Pemberian radiasi memperlihatkan efek yang nyata pada fase vegetatif, yaitu terhadap tinggi tanaman. Dosis 900 Gy menyebabkan tanaman M1 lebih pendek (91.95 cm) dan dosis 200 Gy menyebabkan tanaman lebih tinggi (122.3 cm) dibanding kontrol. Pengaruh radiasi pada fase generatif memperlihatkan efek yang berbeda terhadap panjang malai dan jumlah gabah. Panjang malai tanaman M1 pada umumnya tidak berbeda nyata kecuali tanaman M1 dari 100, 500, 800 dan 1000 Gy nyata lebih pendek. Demikian juga halnya terhadap banyaknya jumlah gabah per malai umumumnya menurun kecuali 100,200, 400 dan 600 Gy. Efek nyata juga terjadi terhadap banyaknya jumlah gabah isi dan gabah hampa. Pengaruh radisi dosis 200 Gy menghasilakan gabah isi paling banyak (97.95) dengan jumlah gabah hampa paling sedikit (23.35 butir).

DAFTAR PUSTAKA

[1] Suswono, 2009. Rencana strategis pembangunan pertanian Tahun 2009-2014. Kementerian Pertanian.

[2] Husni, A. 2007. Penerapan teknologi Fusi protoplas dalam perakitan tanaman jeruk lokal tipe baru. Laporan Akhir Program Insentif Riset Terapan. BB. Litbang Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian. 33 h.

[3] Ahloowalia BS, Maluszynski M and Nichterlein K. 2004. Global impact of mutation-derived varieties. *Euphytic*a 135:187-204.

[4] Maluszynski M, Ahloowalia BS and Sigurbjornsson B. 1995. Application Of *In Vivo* And *In Vitro* Mutation Techniques For Crop Improvement. *Euphytica* 85: 303-315.

[5] Maluszynski M. 2001. Officially Released Mutant Varieties. The FAO/IAEA Database. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 65:175-177.

[6] Soeranto, H. 2005. Pemululiaan Tanaman Dengan Teknik Mutasi. Puslitbang. Teknologi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional Jakarta. 20 h.

[7] Vegara, B.S. 1995. Palnt growth and development of rice. In Rice Production Manual.The International Rice Research Institute. Los Banos. 17-37.

[8] Herison, C., Rustikawati, Sujono H. S., Syarifah I. A. 2008. Induksi mutasi melalui sinar gamma terhadap benih untuk meningkatkan keragaman populasi dasar jagung (*Zea mays* L.). Akta Agrosia 11(1):57-62.

[9] Cheema, A.A and Alta, B.M.2006. Study of radiosensitivitas of Basmati rice. Nuclear Institute for Agriculture and Biology (NIAB). Jhang Road. Faisalabad, Pakistan. 12 h.

[10] Lestari, E.G. 2005. Seleksi in vitro untuk ketahanan terhadap kekeringan pada tanaman padi. Disertasi Sekolah Pascasarjana IPB.225 h.

UJI KAPASITAS ANTIOKSIDAN EKSTRAK DAUN SUKUN DAN FLAVANOID

A. Mu'nisa*), Halifah Pagarra, A. Muflihunna
Departemen Biologi, FMIPA Universitas Negeri Makassar
Kampus Parangtambung UNM, Makassar
mu_nisa@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian telah dilakukan untuk menguji aktivitas antioksidan ekstrak daun sukun dan kadar flavanoidnya. Daun sukun diekstraksi dengan cara maserasi menggunakan pelarut metanol, hexan, dan aquades. Uji flavanoid dilakukan terhadap daun sukun muda, tua, dan gugur. Daun sukun yang memiliki kadar flavanoid yang tertinggi selanjutnya di lakukan uji aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH terhadap daun sukun dengan menggunakan 3 jenis pelarut yaitu metanol, aquades, dan heksan. Hasilnya menunjukkan bahwa ekstrak daun sukun tua mengandung kadar flavanoid yang lebih tinggi (100,68 mg/g) dibanding daun sukun muda (87,03 mg/g) dan gugur (42,89 mg/g). Sedangkan yang memiliki aktivitas antioksidan yang paling tinggi adalah ekstrak metanol daun sukun (97%). Hal ini terlihat dari persentase hambatannya dan IC_{50} lebih tinggi dibanding pelarut aquades dan heksan. Ekstrak daun sukun berbagai pelarut mempunyai aktivitas antioksidan yang berbeda. Aktivitas antioksidan berkaitan erat dengan kadar flavanoid pada daun sukun. Senyawa antioksidan dalam ekstrak daun sukun termasuk antioksidan primer. Dibanding dengan vitamin C, ekstrak metanol daun sukun lebih tinggi

Kata Kunci : daun sukun, flavanoid, IC_{50}, DPPH

1 PENDAHULUAN

Antioksidan merupakan senyawa yang dapat menunda memperlambat dan mencegah terjadinya reaksi radikal bebas dalam oksidasi lipid [1]. Berdasarkan sumbernya, antioksidan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu antioksidan sintetik dan antioksidan alami. Antioksidan alami merupakan antioksidan yang diperoleh dari ekstraksi bahan alam.

Antioksidan memiliki peranan yang penting bagi kesehatan, yaitu dalam mengatasi implikasi reaksi oksidasi dalam tubuh yang dapat menyebabkan penyakit kardiovaskuler, kanker, dan penuaan. Antioksidan yang ditemukan di alam seperti tokoferol, asam askorbat, dan flavonoid kebanyakan digunakan untuk keperluan medis dan industri farmasi. Antioksidan yang ditemukan pada tanaman banyak mengandung flavanoid. Flavanoid tanaman telah banyak dimanfaatkan secara luas pada berbagai efek biologi, misalnya sebagai antibakteri, antivirus, anti inflamasi, antialergi, dan vasodilatasi. Selain itu, flavanoid dapat

menghambat perkembangan tumor pada tikus. Flavanoid merupakan salah satu kelompok terbesar yang berperan sebagai senyawa antioksidan, yang sebagian besar terdapat pada buah, sayuran, kacang-kacangan, biji, daun, bunga, dan akar [2,3].

Sukun (*Artocarpus communis* L) adalah salah satu sumber makanan. Secara tradisional, daun sukun digunakan untuk mengobati berbagai penyakit, diantaranya sirosis hati, hipertensi, dan diabetes. Secara ilmiah, beberapa aktifitas biologi hasil ekstrak tanaman sukun telah dilaporkan. Ekstrak aseton pada daun memperlihatkan penghambatan aktivitas 5α-reduktase pada penderita hiperplasi dan kanker prostat. Ekstrak metanol pada bunga sukun dapat menghambat aktivitas katesin K. Katesin K secara efektif mencegah resorpsi tulang. Ekstrak sukun juga dapat mengurangi gejala gejala diabetes mellitus dan masalah ginjal. Tumbuhan sukun mengandung karbohidrat, protein, lemak, ester, alkaloid, asam seritik, α-amyrin asestat, β-amyrin asetat, saponin, flavanoid, dan polifenol [4]. Ekstrak metanol daun sukun juga mempengaruhi fertilitas mencit jantan [5].

Berdasarkan uraian tersebut di atas, perlu kiranya dilakukan pengujian untuk mengetahui aktivitas antioksidan daun sukun dengan menggunakan 3 jenis pelarut berbeda dalam mengekstrak daun sukun.

2 METODOLOGI

2.1 Preparasi Ekstrak Daun Sukun

Daun Sukun yang digunakan adalah daun tua, daun muda, dan daun gugur Daun sukun dikeringkan dengan cara diangin-anginkan, setelah itu dihancurkan dengan menggunakan blender dan terakhir pengayakan dengan ukuran 40 mesh . Daun sukun yang telah halus dicampur dengan metanol. Ekstraksi dilakukan dengan cara maserasi selama 6 jam dengan 3x perendaman, kemudian disaring dengan kertas *Whatman* No. 42 dan sisanya dicuci dengan 50 mL metanol panas. Filtrat yang diperoleh diuapkan hingga 6 ml dengan vakum rotatori evaporator pada suhu 45°C. Hasil ekstraksi disimpan di dalam lemari pembeku (-10°C) sampai sampel tersebut digunakan atau diuji flavanoid. Preparasi tersebut di atas digunakan juga untuk ekstraksi daun sukun dengan menggunakan pelarut metanol, heksan, dan aquades untuk pengujian aktivitas antioksidan

2.2 Penetapan Kadar Flavanoid

Pembuatan pereaksi potassium asetat 1 M. Sebanyak 10 gram potassium asetat dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml, lalu dilarutkan dengan 50 ml air suling bebas CO_2 dan volumenya dicukupkan dengan air suling bebas CO_2 hinga 100 ml.

Pembuatan pereaksi $AlCl_3$ 10 %. Ditimbang $AlCl_3$ sebanyak 10 gram, dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml, selanjutnya dilarutkan dengan 50 ml air suling bebas CO_2, dan volumenya dicukupkan dengan air suling bebas CO_2 hingga 100 ml.

Pembuatan kurva baku. Dibuat larutan quersetin dengan konsentrasi 10, 20, 30, 40, dan 50 bpj dengan cara memasukkan masing-masing 20, 40, 60, 80, dan 100 ml larutan quersetin ke dalam labu ukur 10 ml. Masing-masing konsentrasi larutan quersetin ditambahkan 0,1 ml $AlCl_3$ 10 %, 0,1 ml potassium asetat dan 2,8 ml aquades. Kemudian masing-masing campuran larutan didiamkan selama 30 menit pada suhu ruangan. Masing-masing konsentrasi larutan yang berbeda diukur serapannya dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS panjang gelombang 415 nm. Hasil serapannya dibuat kurva standar.

Pembuatan larutan sampel [3]. Ekstrak metanol daun sukun 10 g/ml ditambahkan 1,5 ml metanol, 0,1 ml $AlCl_3$ 10%, 0,1 ml potassium asetat 1 M dan 2,8 ml aquades. Campuran larutan tersebut didiamkan selama 30 menit dalam suhu ruang. Selanjutnya, larutan di ukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-VIS dengan panjang gelombang 415 nm. Jenis daun yang memiliki kandungan flavanoid yang terbesar, selanjutnya dilakukan uji aktivitas antioksidan.

2.3 Uji aktivitas antioksidan dengan Metode DPPH [6]

Pembuatan Larutan DPPH. Serbuk DPPH ditimbang sebanyak 1,97 mg dan kemudian dilarutkan dengan metanol dalam labu ukur sampai 100 ml.

Pengukuran Aktivitas Antioksidan Blangko. Pengujian dilakukan dengan memipet 2 ml DPPH dan menambahkan 3 ml metanol dalam labu terukur 5 ml. Larutan campuran metanol dan DPPH dibiarkan selama 30 menit, selanjutnya larutan tersebut diukur absorbansinya pada panjang gelombang 515 nm. Semua pengerjaan dilakukan dalam ruang tertutup.

Pengukuran aktifitas antioksidan sampel. Masing-masing ekstrak daun sukun ditimbang sebanyak 100 mg kemudian dilarutkan dengan metanol sebanyak 10 ml sehingga diperoleh

konsentrasi 10.000 mg/ml dan dijadikan sebagai larutan stok. Dari larutan stok dipipet sebanyak 250 µl, 200 µl, 150 µl, 100 µl, selanjutnya masing-masing larutan tersebut ditambahkan 10 ml metanol, sehingga diperoleh konsentrasi 250 mg/ml, 200 mg/ml, 150 mg/ml, dan 100 mg/ml. Sebanyak 100 µl larutan uji dari berbagai konsentrasi yaitu 250 mg/ml, 200 mg/ml, 150 mg/ml, dan 100 mg/ml ditambahkan masing-masing 1 ml DPPH dan dicukupkan volumenya hingga 5 ml dengan menggunakan pelarut metanol. Campuran larutan tersebut dihomogenkan dan didiamkan selama 30 menit pada suhu kamar yang terlindung dari sinar matahari. Campuran larutan tersebut diukur absorbansi dengan panjang gelombang 515 nm. Hasil penetapan aktivitas antioksidan sampel baik ekstrak metanol, aquades dan hexan daun sukun selanjutnya dibandingkan dengan aktivitas antioksidan vitamin C (asam askorbat).

Pengukuran Aktivitas Antioksidan Pembanding. Asam askorbat (Vitamin C) di timbang sebanyak 50 mg kemudian dilarutkan dengan menggunakan metanol 10 ml sehingga diperoleh konsentrasi 5000 mg/ml, larutan ini dijadikan sebagai larutan stok. Dari larutan stok dipipet sebanyak 40 µl, 30 µl, 20 µl, 10 µl dan masing-masing larutan stok ditambahkan 5 ml metanol sehingga di peroleh konsentrasi 40 mg/ml, 30 mg/ml, 20 mg/ml, dan10 mg/ml. Pengujian aktivitas antioksidan dilakukan dengan memipet 100 µl larutan vitamin C (asam askorbat) dari masing-masing konsentrasi, lalu masing-masing larutan dengan konsentrasi berbeda ditambahkan 1 ml DPPH dan dicukupkan volumenya hingga 5 ml dengan menggunakan pelarut metanol. Masing-masing campuran larutan dengan konsentrasi berbeda di homogenkan dan di diamkan selama 30 menit pada suhu kamar dan pada ruangan yang terlindung oleh cahaya. Selanjutnya campuran larutan dengan konsentrasi berbeda diukur absorbansinya dengan panjang gelombang 515 nm.

Besarnya nilai persen (%) aktivitas antioksidan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Aktivitas antioksidan } \% = \frac{absorbansi\ blangko - absorbansi\ sampel}{absorbansi\ blanko} \text{ X } 100\%$$

Keterangan:

Aktivitas antioksidan : Besarnya nilai persen (%) aktivitas antioksidan
Absorbansi : Nilai absorbansi (a) blangko dan sampel

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kandungan Flavanoid Ekstrak Metanol Daun Sukun.

Flavanoid telah diketahui memiliki aktivitas antioksidan dan memberi efek yang sangat besar bagi kesehatan dan nutrisi manusia. Mekanisme kerja flavanoid adalah sebagai proses *scavenger* dan selasi [7,8]. Kandungan flavanoid pada ekstrak metanol daun sukun muda, tua, dan gugur adalah 87,03 mg/g, 100,68 mg/g dan 42,89 g/mg (Tabel 1). Hasil pengukuran kandungan flavanoid menunjukkan bahwa daun sukun tua memiliki kadar flavanoid yang paling tinggi, kemudian diikuti dengan daun sukun muda dan gugur.

Komponen seperti flavanoid yang mengandung gugus hidroksil dapat bertanggung jawab dalam menangkal radikal bebas [9]. Sehingga dapat dikatakan bahwa kandungan fitokimia pada ekstrak daun sukun memiliki aktivitas yang sangat tinggi dalam menangkal radikal bebas.

Kandungan flavanoid banyak terdapat pada daun sukun yang tua. Hal ini dipengaruhi oleh kandungan klorofil dan faktor proses fotosintesis, karena pada daun tua dimungkinkan memiliki kandungan klorofil yang tinggi sehingga mampu melakukan proses fotosintesis dengan baik. Sedangkan pada daun muda dan gugur memiliki kandungan flavanoid yang lebih rendah dibanding daun tua. Bila dikaitkan dengan kandungan klorofil, maka terlihat pada warna daun yang masih hijau muda pada daun muda dan daun gugur yang telah berwarna kuning.

Flavanoid merupakan salah satu senyawa metabolit sekunder. Bila proses fotosintesis berjalan dengan baik, maka produksi senyawa metabolit juga meningkat. Senyawa metabolit pada tanaman digunakan utuk sebagai zat warna, racun, aroma makanan, obat-obatan dan sebagainya. Demikian pula flavanoid pada tanaman, juga digunakan sebagai penangkal radikal bebas pada tanaman tersebut.

3.2 Aktivitas Antioksidan Daun Sukun

Elektron yang tidak berpasangan pada DPPH memiliki kemampuan penyerapan yang kuat pada panjang gelombang 517 nm dengan warna ungu. Perubahan warna ungu menjadi kuning terjadi karena perubahan DPPH menjadi DPPh-H [10]. Antioksidan mendonorkan atom H sehingga terbentuk DPPH-H tereduksi. Kapasitas penangkapan radikal bebas ditunjukkan dengan persentase berkurangnya warna ungu dari DPPH [6]. Pengujian aktivitas

antioksidan dengan metode ini menunjukkan kapasitas ekstrak daun sukun dengan menggunakan 3 jenis pelarut (aquades, metanol, dan heksan) sebagai antioksidan primer.

Ekstrak daun sukun dengan pelarut yang berbeda menunjukkan kapasitas penangkapan radikal bebas yang berbeda seperti yang ditunjukkan Tabel 1. Semakin tinggi konsentrasi ekstrak yang diuji kapasitas penangkapan radikal bebas semakin meningkat. Ini menunjukkan senyawa antioksidan dalam ekstrak daun sukun sebagai antioksidan primer.

Kemampuan ekstrak polifenol kasar menangkap radikal DPPH dikaitkan dengan kemampuannya sebagai donor proton [11]. Jumlah proton hidrogen yang bisa di donorkan dipengaruhi oleh jumlah dan posisi gugus OH. Polifenol golongan flavanoid mengandung gugus OH lebih banyak. Tetapi aktivitas antioksidatif ekstrak aquades dan heksan daun sukun lebih kecil bila dibandingkan ekstrak metanol dan vitamin C. Walaupun nilai aktivitas antioksidan ekstrak metanol daun sukun lebih tinggi dibanding vitamin C tapi selisih nilainya tidak jauh. Hal ini mungkin disebabkan karena ekstrak polifenol kasar masih tercampur dengan senyawa lain yang ikut terekstrak pada waktu ekstraksi polifenol, sedangkan vitamin C tersebut dalam keadaan murni. Hasil ini juga menunjukkan bahwa senyawa antioksidan polifenol pada daun sukun bersifat lebih polar.

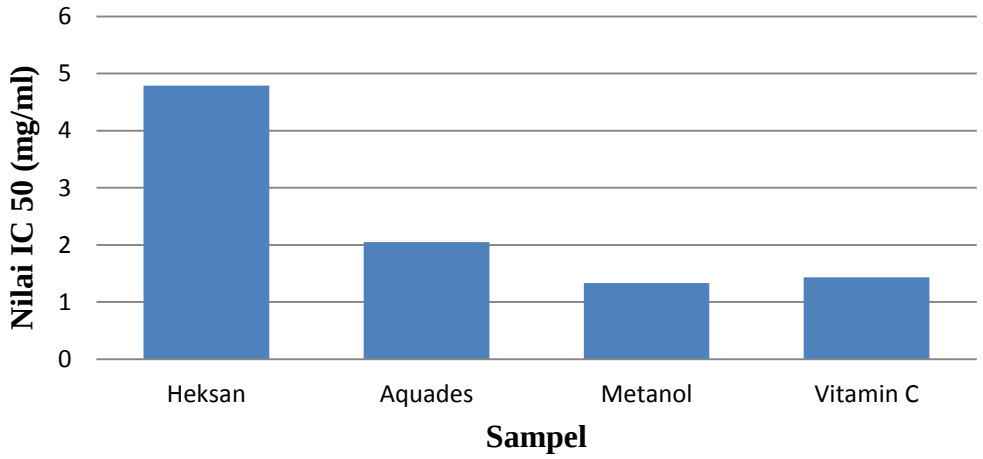
Antioksidan fenolik diklasifikasikan ke dalam dua kelompok, yaitu kelompok lipofilik, seperti tokoferol dan kelompok hidrofilik, seperti asam fenolik dan flavanoid. Fenolik adalah substansi yang mengandung satu atau lebih golongan hidroksil (OH) yang terikat pada cincin aromatik. Fenolik merupakan metabolik sekunder yang terdistribusi secara luas dalam tanaman dan bersumber dari berbagai jenis buah-buahan, rempah-rempahan, dan herbal. Senyawa flavanoid dapat berperan sebagai penangkap anion superoksida dan radikal hidroksi. Selain itu juga flavanoid bereaksi dengan radikal peroksil dengan cara mendonorkan atom hidrogen menyebabkan terminasi reaksi radikal berantai [12,13].

Aktivitas antioksidan dinyatakan dalam nilai IC_{50} (Inhibitor konsentrasi 50%) yaitu besarnya nilai konsentrasi antioksidan yang dibutuhkan untuk penghambatan radikal DPPH sebesar 50%. Dan diperoleh dengan cara membuat kurva log konsentrasi yang di plotkan dengan nilai prosentasi probit (persen aktivitas antioksidan) untuk setiap sampel yang diuji dan dibuat persamaan garis lurus dari kurva tersebut. Dengan memasukkan nilai probit yang menunjukkan nilai Y dan nilai X sebagai log konsentrasi sampel. Pada kurva tersebut

terbentuk persamaan garis lurus yang dibutuhkan untuk menetralisir 50% radikal bebas yang terdapat dalam larutan uji dan merupakan nilai IC_{50}.

Tabel 1 Persentase aktivitas antioksidan ekstrak daun sukun dengan pelarut aquades, metanol, dan heksan dengan pembanding vitamin C.

Pelarut	Konsentasi (mg/ml)	Aktivitas Antioksidan (%)
Aquades	100	49,62
	150	50,37
	200	61,56
	250	94,77
Metanol	100	74,62
	150	77,98
	200	87,31
	250	97,00
Heksan	100	50.00
	150	50,37
	200	53,73
	250	55,59
Vitamin C	10	94,02
	30	94,40
	20	94,77
	40	95,52



Gambar 1. Nilai IC_{50} (mg/ml) ekstrak daun sukun dengan menggunakan pelarut aquades, metanol, dan heksan, dan pembanding menggunakan vitamin C. Nilai IC_{50} mengindikasikan tingginya aktivitas antioksidan

Nilai IC_{50} ekstrak metanol daun sukun paling rendah diantara ekstrak lainnya. Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa kemampuan menangkap radikal bebas ekstrak metanol paling tinggi dibandingkan ekstrak heksan dan aquades. Kadar flavanoid pada daun sukun diduga berperan penting terhadap kemampuan penangkapan radikal bebas dan masing-masing ekstrak kemungkinan mempunyai jenis senyawa flavanoid yang berbeda dan kapasitas antioksidan juga berbeda. Efektivitas senyawa antioksidan dipengaruhi oleh banyak faktor terutama energi aktivasi, konstanta kecepatan reaksi, potensi oksida-reduksi, stabilitas terhadap radikal intermediate, dan kelarutannya [14].

4 KESIMPULAN

Uji kapasitas antioksidan ekstrak daun sukun dan flavanoid telah dilakukan. Daun sukun yang telah tua memiliki kandungan flavanoid yang lebih tinggi dibanding daun muda dan daun gugur. Ekstrak daun sukun dengan pelarut berbeda memiliki aktivitas antioksidan yang berbeda pula. Aktivitas antioksidan dan kapasitas penangkapan radikal bebas tertinggi berdasarkan IC_{50} diperoleh dari ekstrak metanol daun sukun. Aktivitas antioksidan ekstrak daun sukun berkaitan erat dengan kandungan flavanoid.

UCAPAN TERIMAH KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional Penelitian, karena ini merupakan bagian dari penelitian yang dibiayai oleh Proyek Penelitian Hibah Bersaing dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan nasional, No. 032/SP2H/PL/Dit.Litabmas/IV/2011.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kochar, S.P dan B. Rossel, 1990. Detection Estimation and Evaluation of Antioxidant in Food System. In B.J.F Hudson (ed). Food Antioxidant. Elsevier Applied Science. London

[2] Panovska, T.K, Svetlana K, Marina S. 2005. In vitro antioxidant activity of some Teucrium species (Lamiaceae). Acta Pharm. 55: 207–214

[3] Pourmorad, F., S.J. Hosseinimehr, N. Shahabimajd. 2006. Antioxidant activity, phenol, and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. African Journal of Biotechnology 11: 1142-1145.

[4] Arung ET *et al*. 2009. Anticancers properties of diethylether extract of wood from sukun (*Artocarpus altilis*) in human breast cancer (T47D) cells. Journal of Paharmaceutical Research 4: 317-324

[5] Pagarra, H. 2004. Pengaruh ekstrak daun sukun (*Artocarpus communis, A. altitis*. J.E Smith) terhadap fertilitas mencit (*Mus muscles*) ICR jantan. Bionature 4: 25-32

[6] Kim, O.S. 2005. Radical Scavenging Capacity and Antioxidant Activity of the E Vitamer Fraction in Rice bran, J. Food Sco. 70: 208-213

[7] Kessler M, Ubeaud G, Jung L. 2003. Anti- and pro-oxidant activity of rutin and quercetin derivatives. J. Pharm and Pharmacol. 55: 131-142

[8] Cook NC, Samman, S. 1996 Flavanoids chemistry metabolism, cardioprotective effects, and dietary source. Nutritional Biochemistry 7:66-76

[9] Das NP, Pereira TA. 1990. Effects of flavanoids on thermal autooxidation of Palm oil: structure-activity relationship. J. American Oil Chemists Society 67: 255-258

[10] Xu, J. dan Q. Hu. 2004. Effect of foliar application of selenium on the antioxidant activity of aqueous and ethanolic extracts of selenium-enriched Rice. J. Agri. Food. Chem. 52: 1759-1763.

[11] Lai, L.S., S.T. Chou, dan W.W. Chao. 2001. Studies on the antioxidatives activities of Hsian-tsao (Mesona procumbens Hemsl) leaf Gum. J. Agric. Food Chem. 49,: 963-968

[12] Wijoyo, T.H.N. 1990. Profil Kromatografi Lapis Tipis Kandungan Umbi Akar Talinum paniculatum Gaertn dan Talium triangulare Wild. Fakultas Farmasi. UGM, Yogyakarta

[13] Kandaswami, C. dan E. Middleton, Jr. 1996. Flavanoids as Antioxidant. In F. Shahidi (ed). Natural Antioxidant-Chemistry, Health Effects, and Application. AOCS, USA

[14] Su, Y-L, J-Z Xu, C.H. Ng, L.K.K. Leung, Y. Huang, and Z-Y. Chen. 2004. Antioxidant activity of tea theaflavins and methylated catechin in canola oil. JAOCS 31: 269-274

Kimia

POTENSI SEDIAAN ISOLAT BETA-KARYOFILEN DAN EUGENOL YANG DIFORMULASI SEBAGAI ATRAKTAN LALAT BUAH *Bactrocera* spp. (DIPTERA: TEPHRITIDAE)

Budi Untari [1], Ahsol Hasyim[2], Setiawaty Yusuf[3]

[1,3]Jurusan Farmasi, FMIPA Universitas Sriwijaya
[2]Balitsa Lembang Bandung
[1)] untaribudi@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melihat potensi sediaan isolat beta-karyofilen dari daun Gelam merah dan eugenol dari bunga kenanga sebagai atraktan terhadap lalat buah jantan *Bactrocera* spp. Pengujian di lapangan dilakukan dengan konsentrasi sediaan 60; 40; 20%. Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa, isolat eugenol dan beta -karyofilen cukup efektif digunakan pada konsentrasi 60%. Dari formulasi sediaan salap dan larutan eugenol serta beta-karyofilen konsentrasi 60% mempunyai masa aktif paling lama yaitu 7 hari. Sediaan salap dan larutan eugenol serta beta-karyofilen merupakan atraktan bagi kelompok lalat buah *Bactrocera dorsalis* complex dan *Bactrocera carambolae.*

Kata kunci: Isolat beta-karyofilen, eugenol, perangkap, lalat buah

1 PENDAHULUAN

Ketergantungan petani terhadap penggunaan insektisida sintetik untuk mengendalikan hama yang cukup tinggi, perlu segera diatasi dengan mencari alternatif pengendalian lain yang ramah lingkungan. Salah satu alternatif pengendalian yang banyak dilakukan saat ini adalah memanfaatkan tumbuhan yang memiliki khasiat insektisida atau ekstrak tumbuhan yang bersifat atraktan [1, 2, 3, 4, 5, 6] khususnya tumbuhan yang mudah diperoleh dan dapat diramu petani sebagai sediaan attraktan nabati dimasa mendatang.

Kehadiran lalat buah pada tanaman disebabkan karena adanya rangsangan bahan kimia tertentu yang dihasilkan oleh tanaman yang berupa bau (*olfaction*) atau berupa warna tertentu yang menarik (vision). Berdasarkan fakta tersebut, manipulasi ekologi kimia lalat buah diharapkan merupakan alternatif pengendalian yang dapat dikembangkan [7]. Informasi tentang bahan kimia yang dihasilkan tanaman yang menyebabkan lalat buah mengunjungi tanaman perlu diperoleh guna mendapatkan bahan penarik lalat buah. Beberapa tumbuhan tingkat tinggi, terutama yang mengandung minyak atsiri dapat melepaskan sejumlah senyawa volatil dan dapat mempengaruhi respon tingkah laku dari serangga. Senyawa volatil tidak

dapat larut dalam air, namun dapat larut dalam air panas. Oleh karena itu untuk memperoleh senyawa ini dapat dilakukan dengan cara destilasi, maserasi, *effeurage*, ekstraksi gas, dan penarikan dengan pelarut organik seperti heksana, sedangkan sisa resin yang ada dalam ekstrak dipisahkan dengan alkohol [8].

Dari berbagai survey dilapangan tumbuhan *Occimum sanctum* sering dikunjungi lalat buah di pagi hari, namun sebaliknya tumbuhan *Elsholtzia pubescens* Bth. berbau wangi namun tidak dikunjungi lalat buah, tetapi minyak atsiri yang dihasilkannya dapat menarik hama lalat buah spesies *B. tau* [2, 9]. Oleh karena itu untuk mendapatkan bahan penarik yang efektif dalam mengendalikan lalat buah perlu dilakukan upaya eksplorasi bahan-bahan tumbuhan yang biasa dikunjungi lalat buah atau berbau wangi. Dari hasil eksplorasi kemudian dilakukan isolasi dan identifikasi serta pengujian bahan aktif yang dikandung dari setiap materi tanaman dalam rangka untuk mencari terobosan kemungkinan pengembangannya.

Pemakaian insektisida sampai saat ini masih menimbulkan permasalahan di lingkungan. Salahsatu alternatif pemecahan permasalahan yang ada yaitu pemanfaatan bahan alam sebagai insektisida, seperti pemanfaatan bahan alam sebagai atraktan pengendali hama lalat buah. Terbatasnya informasi tentang bioaktivitas tumbuhan aromatis yang ada di Sumatera Selatan sebagai sumber atraktan terhadap hama lalat buah serta mahalnya harga sediaan atraktan di pasaran bagi petani. Dalam upaya menggali informasi tersebut, pertanyaan yang timbul adalah: Dapatkah sediaan bahan alam dari tumbuhan aromatis di Sumatera Selatan berfungsi sebagai atraktan pengendali hama lalat buah dan seberapa besar potensinya untuk digunakan sebagai agens pengendali hama lalat buah yang ramah lingkungan dan dapat dimanfaatkan petani sebagai komponen Perlindungan Hama Tanaman.

2 METODOLOGI

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolat beta-karyofilen yang diisolasi dari daun gelam merah (*Melalaeuca cajuputi* Roxb), eugenol dari bunga kananga (*Cananga odorata*), dan metil eugenol, n-heksana, metanol, etil asetat, silika gel 254, iodium. Peralatan yang digunakan alat gelas, kolom gelas, KLT, Kromatografi Gas-Sperktrofotometri Massa dan perangkap. Isolat beta-karyofilen hasil isolasi dari daun tumbuhan gelam merah (*Melalaeuca cajuputi* Roxb), eugenol dari bunga kananga (*Cananga odorata*).

Sediaan formula setengah padat dengan bahan vaselin album dan paraffin solidum di masukkan ke dalam beker gelas dan di panaskan di penangas air sampai bahan mencair. Bahan dasar diaduk dengan batang pengaduk sampai homogen. Setelah dingin, dibuat formula sediaan konsentrasi 60; 40; 20% untuk isolat beta-karyofilen dan eugenol. Campuran digerus homogen di dalam lumpang. Untuk sediaan cair dengan bahan dasar minyak sawit juga dibuat dengan konsentrasi yang sama. Campuran senyawa dengan minyak sawit diaduk homogen dalam lumpang.

Kestabilan fisik dan kimia diteliti secara rutin meliputi kemantapan fisik yaitu perubahan bau, perubahan warna, perubahan bentuk sediaan.(homogenitas). Untuk perubahan warna dan bau dipantau dalam waktu 8 minggu.

Pengujian bioaktivitas atraktan isolat di pertanaman kebun timun dan belimbing menggunakan rancangan acak kelompok dan 3 ulangan memakai metode Steiner [10] (Gambar 1). Perangkap yang dibuat dari botol air mineral bekas yang dimodifikasi berisi air 30 ml. Dioleskan sediaan aktif atraktan padat atau cair 0,5 g di kapas yang digantung dalam botol masing-masing yang kiri dan kanannya berlubang untuk jalan masuknya lalat buah. Setiap perangkap berisi satu sediaan dan perangkap digantung pada cabang tanaman belimbing 1,5 meter dari permukaan tanah atau tanaman timun. Untuk tanaman cabe merah digantung pada kayu penyangga setinggi tanaman cabe. Kontrol yang digunakan adalah metil eugenol pada tanaman belimbing dan pada tanaman timun. Peletakan perangkap dikebun tanaman dilakukan dari jam 8.00 WIB sampai lalat buah tidak tertangkap lagi.

Gambar 1 Perangkap dari botol air mineral Model Steiner yang dimodifikasi.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kestabilan Fisik dan kimia

Dari sediaan salap dan larutan dengan basis salap paraffin solidum dan vaselin album dan larutan atraktan dengan konsentrasi 60%; 40%; 20% dan larutan dengan pelarut minyak kelapa sawit dengan konsentrasi yang sama. Sediaan salap stabil tidak terpecah dan sediaan larutan tetap homogen. Terlihat pula bahwa sifat fisik salap dan larutan dengan bentuk masing-masing bentuk setengah padat dan larutan kental dengan bau aromatik seperti dipaparkan pada pada Tabel 1.

Tabel 1 Sifat fisik sediaan salap dan larutan.

Formula	Bentuk	Homogenitas	Warna	Bau
SB60%	Setengah padat	homogen	Putih kekuningan	Aromatik
SB40%	Setengah padat	homogen	Putih kekuningan	Aromatik
SB20%	Setengah padat	homogen	Putih kekuningan	Aromatik
SE60%	Setengah padat	homogen	Putih kekuningan	Aromatik
SE40%	Setengah padat	homogen	Putih kekuningan	Aromatik
SE20%	Setengah padat	homogen	Putih kekuningan	Aromatik
LB60%	Cairan	homogen	Kekuningan	Aromatik
LB40%	Cairan	homogen	Kekuningan	Aromatik
LB20%	Cairan	homogen	Kekuningan	Aromatik
LE60%	Cairan	homogen	Kekuningan	Aromatik
LE40%	Cairan	homogen	Kekuningan	Aromatik
LE20%	Cairan	homogen	Kekuningan	Aromatik

Ket. SB = Sediaan padat beta-karyofilen LE = Larutan eugenol
LB = Larutan beta-karyofilen SE = Sediaan padat eugenol

Dari data hasil pengamatan stabilitas secara organoleptis selama waktu penyimpanan delapan minggu pada suhu kamar menunjukkan bahwa tidak terjadinya perubahan homogenitas, warna maupun bau. Selama penyimpanan pada suhu kamar, sediaan salap dan larutan tetap homogen hingga pengamatan pada minggu ke delapan yaitu setiap sediaan tidak berubah bentuk fisiknya. Hasil pemeriksan warna pada sediaan salap dan larutan tetap tak berubah pada setiap sediaan. Dengan demikian secara organolepastis dikatakan sediaan memiliki kestabilan yang cukup baik. Hasil pemeriksaan sediaan salap dan larutan selama waktu penyimpanan delapan minggu pada suhu kamar.

3.2 Hasil Pemeriksaan pH

Pemeriksaan pH adalah salahsatu pemeriksaan kriteria kimia dan fisika dalam memprediksi kestabilan sediaan salap dan larutan. Profil pH menentukan stabilitas bahan aktif dalam suasana asam atau basa [11]. Dari Tabel 2 dan 3 terlihat bahwa hasil pengamatan sediaan salap dan larutan mengalami sedikit perubahan selama waktu penyimpanan pada suhu kamar. Terlihat bahwa pH dari sediaan terjadi sedikit penurunan pH tapi masih dalam batas kewajaran karena perubahan itu kemungkinan disebabkan oleh suhu yang berbeda selama penyimpanan ketika pengamatan.

Tabel 2 pH sediaan salap selama penyimpanan 8 minggu.

Formula	pH minggu ke-							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SB1	6.19	6.19	6.17	6.17	6.17	6.17	6.14	6.14
SB2	6.18	6.17	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15
SB3	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18
SE1	6.19	6.19	6.19	6.18	6.18	6.18	6.18	6.17
SE2	6.18	6.17	6.17	6.17	6.17	6.17	6.17	6.17
SE3	6.17	6.17	6.17	6.17	6.17	6.17	6.16	6.16

Tabel 3 pH sediaan larutan selama penyimpanan 8 minggu.

Formula	pH minggu ke-							
	1	2	3	4	5	6	7	8
LB1	6.56	6.56	6.56	6.56	6.55	6.53	6.50	6.50
LB2	6.42	6.42	6.42	6.42	6.42	6.40	6.40	6.40
LB3	6.42	6.45	6.45	6.45	6.45	6.45	6.45	6.45
LE1	6.51	6.51	6.51	6.51	6.50	6.50	6.50	6.50
LE2	6.49	6.49	6.49	6.49	6.48	6.48	6.44	6.44
LE3	6.47	6.47	6.47	6.47	6.47	6.47	6.46	6.46

3.3 Pengujian Aktivitas di Pertanaman Belimbing di Desa Sembawa Banyuasin

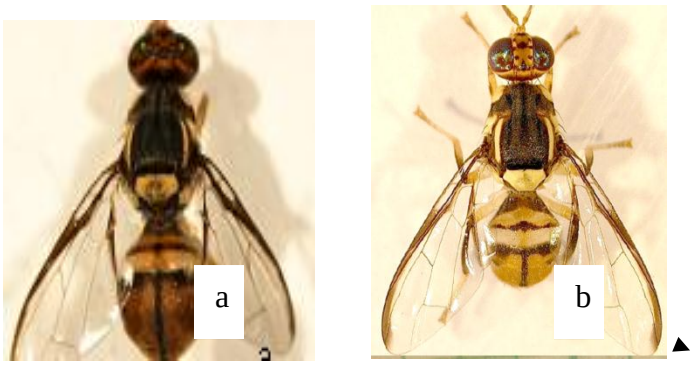
Uji ketertarikan di kebun belimbing menggunakan perangkap dengan konsentrasi 0,5 ml, terlihat sediaan uji dengan aktivitas ketertarikan terhadap *B. carambolae* dan *B papayae*. Senyawa beta-karyofilen merupakan turunan terpenoid sedang eugenol turunan fenilpropanoid. Bila ketertarikan lalat buah jantan terhadap sediaan uji, dianalisis dengan

One-Way ANOVA terlihat adanya perbedaan yang nyata pada ketertarikan lalat buah jantan terhadap semua perlakuan (F =11,19; S= 0.00). Hal ini memperlihatkan bahwa ketertarikan lalat buah jantan *B. carambolae* terhadap sediaan salap, larutan dan pembanding ME berbeda. Bila diuji dengan Tukey 5%. terlihat bahwa pembanding ME berbeda nyata terhadap perlakuan salap dan larutan lainnya. Senyawa turunan fenilpropanoid aktif sebagai atraktan terhadap lalat buah *B. dorsalis* complex [12, 13, 14].

Tabel 4 Persen ketertarikan lalat buah pada pengamatan di pertanaman belimbing

Perlakuan	Lalat buah yang terperangkap (ekor)	Masa efektif (hari)
SB1	13b	7
SB2	11b	2
SB3	6a	2
SE1	13b	7
SE2	10b	2
SE3	8a	1
LF1	15b	7
LF2	11b	3
LF3	5a	2
LE1	13b	7
LE2	10b	2
LE3	5a	1
ME	26c	14

Keterangan : nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata sedangkan nilai yang diikuti oleh notasi yang berbeda berarti berbeda nyata pada uji Tukey HSD taraf 5%.



Gambar 2 Lalat buah jantan *Bactrocera papayae* Drew & Hancock (a); *Bactrocera papayae* Drew & Hancock (b).

3.4 Pengujian aktivitas di Pertanaman timun di desa Talang Keramat Kabupaten Banyuasin

Dengan uji ketertarikan di pertanaman timun menggunakan perangkap dengan konsentrasi 0,5 ml, terlihat sediaan uji dengan tak adanya ketertarikan terhadap lalat buah. Hal ini memperlihatkan bahwa ketertarikan lalat buah jantan dari pertanaman timun harus sesuai dengan struktur senyawa kimia sebagai atraktan. Senyawa turunan fenilbutanoid bersifat aktif atraktan terhadap lala*t buah jantan B.* cucurbitae [15, 16, 17].

Tabel 5 Persen ketertarikan lalat buah pada pengamatan di pertanaman timun.

Perlakuan	Lalat buah yang terperangkap (ekor)	Masa efektif (hari)
SB1	0	0
SB2	0	0
SB3	0	0
SE1	0	0
SE2	0	0
SE3	0	0
LF1	0	0
LF2	0	0
LF3	0	0
LE1	0	0
LE2	0	0
LE3	0	0
ME	0	0

4 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini didapat beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Senyawa kimia sebagai attraktan yaitu : β-karyofilen dari daun *Melaleuca cajuputi* dan eugenol dari bunga *Cananga odorata* terhadap lalat buah *Bactrocera carambolae* dan *Bactrocera papayae*. Potgensi paling kuat pada kadar 60%.
2. Uji bioaktivitas di kebun cabai dan belimbing menunjukkan bahwa formula dapat menarik lalat buah *Bactrocera carambolae* dan *Bactrocera papayae* dengan masa aktif 7 hari sedang di kebun timun tak aktif sebagai atraktan
3. Sediaan salap dan larutan stabil sebagai formula sediaan atraktan

DAFTAR PUSTAKA

[1] Schmutterer, H. 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. *Annu Rev Entomol* 35: 271–297.

[2] Hasyim A, Muryati, Istianto, M and W.J de Kogel, 2007. Male fruit fly, *Bactrocera tau* (Diptera; Tephritidae) attractans from *Elsholtzia pubescens* Bth. *Asian Journal of Plant Sciences* 6 (1): 181-183.

[3] Chuah CH., Yong HS., and Goh, SH., 1997; Methyl Eugenol a Fruit Fly attractant from the Browning Leaves of *Proiphys amboinensis* (Amaryllidaceae), *Biochem. Syst. Ecol*., 25: 391 – 393.

[4] Kardinan, A, 1999. Prospek Minyak Daun *Melaleca bracteara* Sebagai Pengendali Populasi Hama Lalat Buah di Indonesia, *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 18 (1), 73-77,

[5] Kardinan, A., 2002, Atraktan nabati untuk memngendalikan lalat buah pada pertanian organik, *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian* Vol. 24 (2).

[6] Shah, A. H. and R. C. Patel. 1975. Role of Tulsi plant (Ocimum sanctum) in control of mango fruit fly, *Dacus correctus* Bezzi (Tephritidae: Diptera). *Curr. Sci.* 45: 313-314.

[7] Loughrin, J.H., D.A. Potter, T.R. Hamilton-Kemp, & M.E. Byers. 1997. Response of Japanese Beetle (Coleoptera:Scarabidae) to Leaf Volatile of Susceptible and Resistant Maple Species. *Environ. Entomol*. 26: 334-342

[8] Hoffmann, T. J.R. Odum, F. Bowman, D. Collin, D. Klockow, R.C. Flagan and J.H. Seinfeld. 2007. Formation of organic aerosol from the oxidantion of biogenic hydrocarbon. *J. Atmos. Chem.* 189-212.

[9] Kabara. J.J, 1984. *Cosmetic and Drug Preservation*, Marcell Dekker Inc, New York and Bassel, 31-63, 533.

[10] Lachman, L., Lieberman, H. A., Kanig, J. L., 1986, Teori dan Praktek Farmasi Industri, Edisi ketiga, diterjemahkan oleh: Suyatmi, S., Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 760-779, 1514 – 1587.

[11] Steiner, L. F., W. C. Mitchell, E. J. Harris, T. T. Koxuma and M. S. Jujimoto. 1965. Oriental fruit fly eradication by male annihilation. *J. Econ. Entomol*. 58: 961-964.

[12] Metcalf, R.L. 1990, Chemical Ec0ology of the Dacinae fruit flies (Diptera: Tephritidae): *Ann. Entomol. Soc. Am*. 83: 1017-1030.

[13] Tan, K. H., and R. Nishida. 1996. Sex pheromone and mating competition after methyl eugenol consumption in the Bactrocera dorsalis complex, pp. 147-153 in B.A. McPheron and G. J. Steck (eds.). Fruit fly pests: a world wide assessment oftheir biology and management. St. Lucie Press, Delray Beach,

[14] Trisawa, I.M., 1999. *Melalauca bracteata* : Sumber atraktan nabati lalat buah yang . ramah lingkungan dan ekonomis. *Prosiding Seminar Nasional*. Peranan Etomologi dalam Pengendalian Hama yang Ramah Lingkungan dan Ekonomis. Bogor 16 Feb 1999. PEI Cabang Bogor. 805-812.

[15] Tan, K.H., R. Nishida and J.C. Toong. 2002. Floral synomone of a wild orchid *Bulbophyllum cheiri*. Lures Bactrocera Fruit Flies for Pollination, *J. Chem. Ecol*. 28:1161-1172.

[16] Tan, K. H. & Nishida, R. 2005. Synomone or Kairomone? - *Bulbophyllum apertum* (Orchidaceae) flower releases raspberry ketone to attract *Bactrocera* fruit flies. *J. Chem. Ecol*. 31: 509-519.

[17] Yong, H.S. 1990. Flower of *Dendrobium anosmum* (Orchidaceae): A male fruit-fly attractant of the cue lure group. *Nature Malaysiana* 15, 112-115.

PENGARUH SENYAWA MURNI DARI PEGAGAN *(Centella asiatica* (L.) Urban) TERHADAP FUNGSI KOGNITIF BELAJAR DAN MENGINGAT DAN EFEK TOKSISITAS PADA MENCIT (*Mus musculus)* BETINA

Herlina[1], MT. Kamaluddin[2], Lentary Hutasoit[3]
[1,2,3]Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh pemberian senyawa murni dari pegagan (*Centella asiatica* (L.) Urban) terhadap fungsi kognitif belajar dan mengingat dan efek toksisitas pada mencit (*Mus musculus*) betina dengan cara oral. Data fungsi kognitif belajar dan mengingat diperoleh melalui uji menghindar pasif sedangkan efek toksisitas diperoleh dengan mengamati organ lambung, hati dan otak mencit secara makroskopik. Data dianalisis dengan ANOVA dan dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) dengan taraf signifikan $p<0,05$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa murni dari pegagan dengan dosis 40 mg/kg BB memberikan fungsi kognitif belajar dan mengingat yang ditandai dengan memanjangnya lama retensi secara bermakna dibandingkan dengan kontrol ($p<0,05$). Tetapi tidak ada perbedaan bermakna antara mencit yang diinjeksi pada dosis 40 mg/kg BB dengan pirasetam 500 mg/kg BB $p>0,05$. Dari hasil penelitian uji toksisitas tidak menunjukkan adanya efek toksik pada organ lambung dan otak, tetapi berbeda dengan organ hati pada dosis 160 mg/kg BB terjadi penumpukan lemak (steotosis) yang bersifat toksik pada mencit betina.

Kata kunci : Fungsi kognitif, pegagan, mencit betina

1 PENDAHULUAN

Pemakaian obat tradisional di Indonesia sebenarnya sudah dimulai sejak zaman dahulu kala, baik dalam bentuk ramuan jamu yang telah diolah secara alami maupun langsung dipergunakan. Salah satu jenis tanaman obat tradisional yang banyak tumbuh di wilayah Indonesia adalah tanaman pegagan (*Centella asiatica* (L) Urban). Di Indonesia umumnya pegagan tumbuh di daerah yang memiliki ketinggian 2500 meter diatas permukaan laut [1].

Gambar 1 Tumbuhan pegagan (*Centella asiatica* (L.) Urban)

Berdasarkan penelitian dan pengalaman, pegagan telah terbukti mempunyai khasiat dalam menyembuhkan berbagai macam penyakit, antara lain untuk menyembuhkan sariawan, obat kusta, penurun panas, peluruh air seni, hipertensi, diabetes, anemia dan lain-lain. Penggunaan yang paling banyak akhir-akhir ini adalah untuk menambah daya ingat [2].

Pegagan dapat meningkatkan fungsi kognitif dan oksidatif stress yang diinduksi dengan streptozotocin secara *intracerebroventricular* (i.c.v) pada tikus dengan penyakit Alzheimer [3]. Fungsi kognitif adalah kemampuan berpikir dan memberikan rasional, termasuk proses belajar, menilai, orientasi, persepsi dan memperhatikan. Banyak peneliti yang menyatakan bahwa pegagan dapat meningkatkan fungsi kognitif, salah satunya adalah penelitian yang menyatakan bahwa ekstrak cair pegagan dapat meningkatkan fungsi kognitif yang berada pada dosis 200 mg/kg BB dan 300 mg/kg BB [1]. Adapun kandungan zat yang terdapat pada pegagan ini antara lain yaitu asiatikosida, dan glikosida saponin. Zat aktif dari pegagan juga dapat menimbulkan efek samping yang secara langsung dapat mengakibatkan dermatitis pada organ tubuh. Pada penelitian sebelumnya telah dapat dibuktikan bahwa uji terhadap triterpen total berupa ekstrak kental pegagan yang diperoleh dari hasil sokletasi pada dosis 32 mg/kg BB dapat memberikan efek peningkatan fungsi kognitif (belajar dan mengingat) pada mencit albino jantan (*Mus muculus)* yang dihambat dengan skopolamin [2]. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian untuk menentukan apakah senyawa aktif yang terdapat pada triterpen total memberikan efek peningkatan fungsi kognitif (belajar dan mengingat), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan obat yang bermanfaat. Penemuan senyawa aktif yang dapat meningkatkan fungsi kognitif secara tidak langsung diharapkan dapat memberikan informasi mengenai obat yang bermanfaat untuk pengobatan gangguan fungsi otak (*Alzheimer dan Parkinson)* serta efek toksisitas obat tersebut terhadap organ tubuh khususnya pada lambung, hati dan otak.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah senyawa aktif (triterpen) dari pegagan yang telah diisolasi, mencit (*Mus musculus*) betina berumur produktif (3-6 bulan) dengan jumlah 36 ekor, makanan mencit, tween 80%, alkohol 70%, pirasetam, skopolamin, dan aqua pro injeksi, plat KLT, asam sulfat 10%, kloroform, metanol, aqubidest, kapas.

2.2 Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat uji menghindar pasif (*Passive Avoidance Test*), kandang mencit, botol minuman mencit, timbangan analitik, timbangan kasar, stopwatch, labu takar, erlenmeyer, alat suntik, spuit 1 ml diberi sonde pencekok mencit, listrik nyamuk, kamera, mikroskop stereo, alat bedah seperti : gunting bedah, pisau bedah, dan jarum.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Subjek Penelitian

Hewan uji yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mencit (*Mus musculus*) betina yang telah dewasa dan produktif (berumur 3-6 bulan). Hewan ini diperoleh dari Bandung (Institut Teknologi Bandung) sehingga didapatkan subyek yang homogen. Sebelum diperlakukan sesuai dengan desain penelitian, subjek terlebih dahulu diaklimitasi selama 1 minggu. Subjek yang terpilih harus memenuhi persyaratan sebagai berikut : kesehatan, keadaan tubuh, kelamin, dan perilaku.

2.4 Persediaan Bahan Uji

Pengujian senyawa aktif (triterpen)

Karakterisasi senyawa aktif (triterpen) dilakukan dengan pemeriksaan kromatografi lapis tipis (KLT) dengan cara melarutkan senyawa aktif (triterpen) yang didapatkan dari hasil isolasi dan asiatikosida pembanding dengan metanol. Kemudian ambil pipet kapiler lalu ditotolkan pada plat KLT dan biarkan kering. Disiapkan eluen berupa kloroform-metanol dengan perbandingan (4:1) kemudian dimasukan kedalam chember. Masukan plat KLT dan biarkan eluen naik hingga batas, kemudian plat dikeluarkan, biarkan kering, kemudian semprotkan dengan penampak noda yaitu asam sulfat 10% biarkan sampai kering kemudian dipanaskan di atas hotplate selama beberapa detik (pengabuan), akan nampak noda berwarna ungu. Kemudian dihitung harga Rfnya dengan cara:

$$Rf = \frac{\text{Jarak tempuh noda}}{\text{Jarak tempuh eluen}}$$

Pembuatan sediaan dari bahan uji

Serbuk amorf (triterpen) yang didapatkan dari pegagan (*Centella asiatica*) kurang polar dan tidak larut dalam air. Untuk membuat triterpen pegagan menjadi sediaan oral yang homogen maka dapat dibuat larutan dalam air dengan menambahkan surfaktan tween 80 %.

Penentuan Dosis

Dosis senyawa aktif (triterpen) dari pegagan (*Centella asiatica* (L) Urban) yang digunakan mengacu pada penelitian Gupta & Kumar (2003) yang menyatakan bahwa pemberian ekstrak cair pegagan dengan dosis 300 mg/kg BB dapat meningkatkan fungsi kognitif.

Uji farmakologi dengan metode Jarvik dan Koop

Subjek penelitian menggunakan mencit betina, dengan metode Jarvik dan Koop. Subjek uji dibagi menjadi 7 kelompok perlakuan, yaitu:

1. Kelompok I dengan menggunakan akuabidest steril
2. Kelompok II dengan senyawa aktif pada dosis 10 mg/kg BB
3. Kelompok III dengan senyawa aktif pada dosis 20 mg/kg BB
4. Kelompok IV dengan senyawa aktif pada dosis 40 mg/kg BB
5. Kelompok V dengan senyawa aktif pada dosis 80 mg/kg BB
6. Kelompok VI dengan senyawa aktif pada dosis 160 mg/kg BB
7. Kelompok VII dengan menggunakan pirasetam dengan dosis 500 mg/kg BB.

Masing-masing kelompok ditempatkan pada kandang dan lingkungan yang sama.

Pada kelompok I, II, III, IV, V, VI mencit diberi sediaan secara oral (*gavage*) dengan menggunakan sonde berdasarkan dosis yang telah ditentukan, sedangkan untuk kelompok VII mencit diberikan sediaan secara ip (*intraperitoneal*) masing-masing selama tiga minggu. Kemudian hari ke 22 dilakukan uji menghindar pasif (uji kognitif) pertama. Dimana mencit akan memasuki ruangan gelap dan lama mempelajari lingkungan sampai masuk ke ruangan gelap dihitung sebagai LT atau uji belajar (*learning time*), setelah mencit masuk ke ruangan gelap segera diberi shock listrik pada kaki mencit, setelah itu mencit diberi suntikan skopolamin secara *intraperitoneal*, kemudian mencit dimasukan kembali ke kandang. Setelah 24 jam, dilakukan uji menghindar pasif kedua dengan cara yang sama yaitu mencit akan masuk ke ruangan gelap tanpa diberikan kejutan listrik, dan lama waktu menunggu untuk

masuk ke ruang gelap mewakili proses memori yang disebut dengan RT (*retention time*) atau uji mengingat. Untuk mengukur perilaku belajar dan mengingat dari semua mencit digunakan alat uji menghindar pasif modifikasi dari Jarvik dan Koop.

Pengukuran terdiri dari LT (*learning time*) atau uji belajar dan RT (*retention time*) atau uji retensi. Waktu antara belajar dan uji retensi adalah 24 jam, yang menggambarkan kemampuan mengingat jangka pendek dari objek. Waktu yang dibutuhkan oleh sampel mulai dari ruang kecil, lalu masuk ke dalam ruangan gelap dicatat dengan menggunakan stopwatch. Waktu maksimal dalam pengukuran ini adalah 600 detik. Subjek dianggap mampu belajar dengan baik bila sebelum 60 detik sudah memasuki kamar gelap, sedangkan kriteria untuk kemampuan mengingat dengan baik bila pada uji retensi subyek belum memasuki ruangan gelap selama 600 detik. Subyek dinyatakan belajar dan mengingat dengan baik apabila RT – LT > 0. Variabel lama retensi yang menggambarkan kemampuan belajar dan mengingat adalah RT – LT.

Pengamatan Uji toksisitas otak, hati dan lambung

Pengamatan uji toksisitas dilakukan terhadap organ otak, hati dan lambung setelah dilakukan penyuntikan selama dua minggu. Organ otak, hati dan lambung dilihat dengan menggunakan mikroskop stereo yang dapat melihat sistem morfologi dan kerusakan yang terjadi pada organ otak, hati dan lambung.

2.5 Analisis Data

Analisis data yang berupa uji belajar (LT) dan mengingat (RT) dilakukan uji statistik dengan Analisis Varian (ANOVA) dengan tingkat kemaknaan $p<0.05$.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

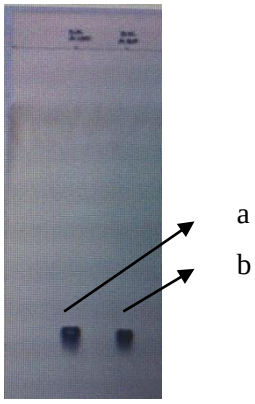
Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dalam mendapatkan senyawa murni (triterpen) dari tumbuhan pegagan (*Centella asiatica* (L) Urban) [2]. Setelah didapatkan senyawa murni (triterpen) tersebut dilanjutkan dengan uji kognitif (belajar dan mengingat), serta melihat efek toksik dari pengaruh pemberian senyawa murni tersebut yang diberikan secara oral. Sebelum dilakukan uji kognitif (belajar dan mengingat) terlebih dahulu senyawa aktif tersebut diuji kemurniannya dengan menggunakan uji KLT. Untuk uji plat KLT dari senyawa aktif (triterpen) digunakan eluen berupa kloroform dan metanol dengan perbandingan 4:1. Deteksi dari senyawa aktif (triterpen) tidak terlihat

pada lampu UV dengan panjang gelombang 200-300nm, hal ini disebabkan karena pada panjang gelombang tersebut elektron pada lampu UV tidak berflororesensi (berpendar) dengan ikatan-ikatan yang terdapat pada senyawa triterpen yang mengakibatkan tidak terlihatnya penampakan noda pada plat KLT. Oleh sebab itu dilakukanlah proses pengabuan pada plat KLT yang telah disemprotkan dengan asam sulfat 10%.

Pengujian dengan menggunakan plat KLT memperlihatkan penampakan satu titik noda yang jelas setelah dilakukan proses pengabuan antara senyawa aktif berupa asiatikosida (triterpen) dari hasil isolasi dengan senyawa pembanding asiatikosida, dan memberikan nilai RF yang sama yaitu 0,0476.

$$Rf = \frac{\text{Jarak tempuh noda}}{\text{Jarak tempuh eluen}} = \frac{0,2}{4,2} = 0,0476$$

Hal ini membuktikan bahwa senyawa aktif asiatikosida (triterpen) ini masih berada dalam keadaan murni. Penampakan noda pada plat KLT dapat kita lihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2 Hasil Uji plat KLT

Keterangan:

a = senyawa murni
b = senyawa pembanding asiatikosida

Setelah proses identifikasi terhadap senyawa aktif tersebut selesai maka dilanjutkan dengan uji kognitif. Uji kognitif diukur dengan menggunakan alat uji menghindar pasif.

Dimana pemberian sediaan daripada senyawa aktif tersebut diberikan dengan dosis yang berbeda-beda.

3.1 Hasil Pemberian Sediaan

Pemberian sediaan senyawa aktif (triterpen) dari pegagan (*Centella asiatica* (L) Urban) terhadap mencit *(Mus musculus)* betina secara oral dilakukan selama 21 hari dengan dosis yang telah ditentukan. Pemberian sediaan dilakukan secara bergantian dari mencit yang satu dengan mencit lainya, dimulai dari kontrol sampai dosis yang tertinggi yaitu 500 mg/kg BB. Pada setiap dosis menunjukkan perbedaan yang sangat jelas terhadap kontrol. Perbedaan tersebut diamati dari mencit yang mengalami fase kematian. Fase kematian mencit akibat senyawa aktif tersebut terjadi pada dosis 160 mg/kg BB, dimana mencit mati pada hari yang ke 11. Kemudian fase kematian dilanjutkan dengan mencit pada dosis 80 mg/kg BB pada hari yang ke 12. Hal ini dapat dikatakan bahwa, pada tingkat dosis 80 dan 160 mg/kg BB senyawa murni tersebut bersifat toksik.

3.2 Hasil lama retensi waktu setelah pemberian senyawa aktif asiatikosida dari pegagan (*Centella asiatica* (L) Urban).

Hasil dari lama retensi memperlihatkan waktu belajar si mencit mengenal lingkungan baru atau disebut dengan istilah *learning time (LT)*, sedangkan lama retensi mencit mengingat dari setiap kejadian pada masa pengenalan lingkungan baru disebut dengan istilah *retention time (RT)*. Hasil lama retensi waktu setelah pemberian senyawa aktif asitikosida dari pegagan (*Centella asiatica* (L) Urban) terhadap fungsi kognitif pada mencit *(Mus musculus)* betina secara oral dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil retensi waktu setelah pemberian senyawa aktif asitikosida dari pegagan.

Perlakuan	Pengulangan	LT (detik)	RT (detik)	RT - LT (detik)
Kontrol (-)	1.	63	48	-15
	2.	72	60	-12
	3.	90	60	-30
	Rata-rata	75	56	-19
Senyawa aktif 10mg/kg BB	1.	5	34	29
	2.	14	600	586
	3.	43	600	557
	Rata-rata	20,66	411,33	390,66
Senyawa aktif 20mg/kg BB	1.	80	600	520
	2.	54	600	546
	3.	60	600	540
	Rata-rata	64,66	600	535,33
Senyawa aktif 40mg/kg BB	1.	60	600	540
	2.	14	600	586
	3.	60	600	540
	Rata-rata	44,66	600	555,33
Pirasetam 500mg/kg BB	1.	46	600	554
	2.	60	600	540
	3.	19	600	581
	Rata-rata	41,66	600	558,33

3.3 Uji Belajar *(Learning time)*

Untuk data parameter rata-rata *learning time* (LT) atau uji belajar yang terdapat pada tabel 2, dosis 10 mg/kg BB lebih rendah yaitu 20,66 detik dibandingkan dengan kontrol yang rata-ratanya jauh lebih besar yaitu 75 detik. Secara kuantitatif, antara mencit yang diberikan sediaan secara oral selama 21 hari pada dosis 10 mg/kg BB dengan senyawa aktif asiatikosida berbeda nyata ($p<0,05$) yang artinya efek pada dosis 10 mg/kg BB telah mampu meningkatkan waktu belajar pada mencit dalam skala yang kecil) terhadap mencit yang bertindak sebagai kontrol. Hal ini disebabkan oleh stimulasi asetilkolin oleh efek senyawa asiatikosida pada dosis 10 mg/kg BB dari pegagan berpengaruh terhadap uji belajar, maka dosis dari senyawa murni pegagan perlu ditingkatkan.

Setelah dosis ditingkatkan menjadi 20 mg/kg BB terlihat jelas bahwa rata-rata uji belajarnya menjadi 64,66 detik pada dosis 40 mg/kg BB rata-rata uji belajarnya menjadi

44,66 detik sedangkan pada pirasetam 500 mg/kg BB rata-rata uji belajarnya 41,66 detik. Terbukti bahwa pada dosis 40 mg/kg BB efek senyawa asiatikosida mempunyai efek yang hampir sama ($p>0,05$) dengan kata lain tidak memiliki perbedaan bermakna dengan pirasetam 500 mg/kg BB terhadap rata-rata *uji belajar* (LT). Sedangkan perbandingan rata-rata lama retensi belajar pada mencit yang diberikan secara oral pada dosis 10 mg/kg BB, 20 mg/kg BB, 40 mg/kg BB dengan kontrol memperlihatkan bahwa kontrol tidak bekerja aktif terhadap uji belajar.

3.4 Uji Mengingat *(Retention time)*

Setelah seluruh mencit disuntik dengan skopolamin yang dibiarkan selama 24 jam dilanjutkan dengan *retention time* (RT) atau uji retensi. Terlihat dari data untuk dosis 20 mg/kg BB sampai dengan dosis 40 mg/kg memiliki efek mengingat yang sama dengan pirasetam 500 mg/kg BB ($p>0,05$). Jika dosis 10 mg/kg BB dibandingkan terhadap dosis 20 mg/kg BB dan 40 mg/kg BB terlihat bahwa, pada dosis 10 mg/kg hasil rata-rata uji mengingat tidak memenuhi syarat uji BNT. Hal ini disebabkan bahwa efek dari pemberian senyawa asiatikosida pada dosis 10 mg/kg BB terhadap uji mengingat sangat kecil. Berdasarkan hasil uji statistik terhadap rata-rata *lama retensi* (RT) dengan uji analisis varian (ANOVA), terdapat perbedaan bermakna antara mencit yang diberikan dengan senyawa murni hasil isolasi triterpen dari pegagan pada dosis 20 mg/kg BB dan 40 mg/kg BB dan mencit yang bertindak sebagai kontrol ($p<0,05$). Tetapi tidak terdapat perbedaan bermakna ($p>0,05$) antara mencit yang diberikan diberikan pada dosis 20 mg/kg BB dan 40 mg/kg BB dengan pirasetam.

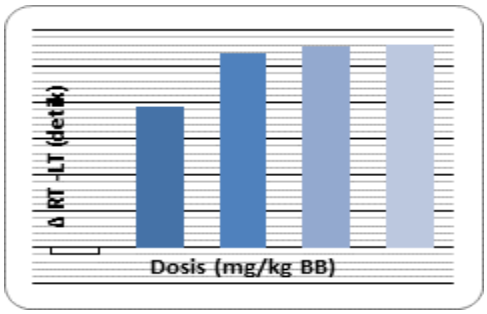
3.5 Hasil rata-rata belajar dan mengingat (Δ RT – LT)

Untuk dosis 10 mg/kg BB terdapat perbedaan bermakna ($p<0,05$) dengan kontrol yaitu sekitar 390,66 detik yang jauh lebih besar dibandingkan dengan kontrol yaitu -19 detik. Sedangkan pada dosis 20 mg/kg BB dan 40 mg/kg BB memiliki rata-rata belajar dan mengingat yaitu sekitar 535,33 detik dan 555,33 detik. Jika kita bandingkan rata-rata belajar dan mengingat pada dosis 10 mg/kg BB jauh lebih kecil dibandingkan dengan dosis 20 mg/kg BB dan 40 mg/kg BB. Hal ini disebabkan oleh stimulasi asetilkolin oleh efek senyawa asiatikosida pada dosis 20 dan 40 mg/kg BB lebih kuat daripada senyawa aktif pada dosis 10 mg/kg BB, sehingga dapat mengatasi antagonis kompetitif dari skopolamin pada reseptor

muskarinik. Oleh karena itu neurotransmisi kolinergik sentral walaupun dihambat oleh skopolamin masih mampu meningkatkan fungsi kognitif belajar dan mengingat. Jika dibandingkan dengan pirasetam 500 mg/kg BB rata-rata belajar dan mengingat pada mencit adalah 558,33 detik tidak berbeda nyata ($p>0,05$) dengan mencit yang diberikan secara oral dengan senyawa asiatikosida (triterpen) dari pegagan (*Centella asiatica* (L) Urban) pada dosis 20 mg/kg BB, dan 40 mg/kg BB. Hal ini berarti bahwa efek senyawa asiatikosida setara dengan efek pirasetam dalam meningkatkan fungsi kognitif belajar dan mengingat. Berdasarkan data hasil lama retensi waktu dilanjutkan dengan menghitung rata-rata serta membuat grafik batang pada Gambar 3 dibawah ini.

Secara biomolekuler reaksi yang terjadi diakibatkan oleh adanya pelepasan asetilkolin didalam sel, dimana pelepasan asetilkolin tersebut diakibatkan oleh karena adanya peningkatan ion Ca^{2+} di dalam retikulum endoplasma. Meningkatnya Ca^{2+} didalam sel mengakibatkan depolarisasi dimana ion K^{+} diluar meningkat dan ion Na^{2+} didalam meningkat. Berdasarkan efek farmakologi senyawa murni hasil isolasi triterpen pegagan yang berupa asiatikosida berfungsi untuk menghambat kerja dari $Na^{+}K^{+}$-ATPase, akibat hambatan $Na^{+}K^{+}$-ATPase yang menyebabkan peningkatan kalsium didalam sel.

Peningkatan asetilkolin tentu akan diikuti oleh peningkatan enzin asetilkolinesterase. Pelepasan asetilkolin yang meningkat akibatnya memacu terus-menerus reseptor muskarinik sehingga akan memfasilitasi neurokolinergik diotak sehingga terjadi peningkatan fungsi kognitif. Dengan demikian fungsi kognitif belajar dan mengingat akan meningkat pula.



Gambar 3 Histogram rata-rata lama waktu belajar dan mengingat untuk semua perlakuan dengan berbagai dosis

Keterangan gambar :

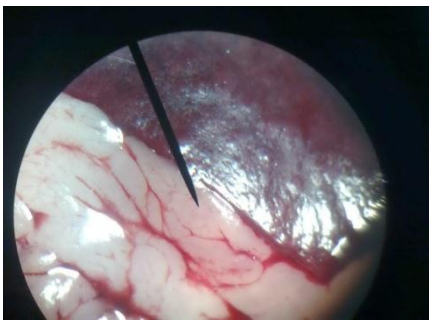
X = Dosis (mg/kg BB)
Y = Δ RT – LT (detik)
Sumbu X pada No 1 = Kontrol
Sumbu X pada No 2 = Senyawa aktif 10 mg/kg BB
Sumbu X pada No 3 = Senyawa aktif 20 mg/kg BB
Sumbu X pada No 4 = Senyawa aktif 40 mg/kg BB
Sumbu X pada No 5 = Pirasetam 500 mg/kg BB

3.6 Hasil Uji Efek Toksisitas Terhadap Organ

Berdasarkan data pengamatan pada organ otak terlihat bahwa pada setiap perlakuan yang diberikan senyawa aktif asiatikosida tidak menunjukan adanya efek toksik berdasarkan ukuran maupun mikroskopik jika dibandingkan dengan kontrol. Secara mikroskopik otak terlihat dalam keadaan normal serta memiliki berat yang sama dengan kontrol. Keadaan normal daripada otak terlihat bahwa tidak adanya pembengkakan maupun kerusakan pada otak mencit.

Hal yang serupa terlihat pada data pengamatan untuk organ lambung yang tidak menunjukkan adanya efek toksik berupa peradangan atau dalam bahasa farmakologi tukak lambung antara mencit yang diberikan sediaan senyawa aktif asiatikosida dengan kontrol. Sehingga untuk pemakaian dosis 160 mg/kg BB senyawa aktif asiatikosida masih berada dalam batas aman (tidak bersifat toksik) terhadap lambung dan otak.

Tetapi berbeda dengan pengamatan terhadap organ hati. Pada organ hati tidak terlihat adanya perlemakan pada mencit yang bertindak sebagai kontrol, dosis 40 mg/kg BB, 80 mg/kg BB tetapi perlemakan hati (steatosis) terjadi pada mencit dengan dosis 160 mg/kg BB. dapat dilihat pada (Gambar 4 dan 5) yang diberikan secara oral dengan senyawa aktif asiatikosida (triterpen) dari pegagan (*Centella asiatica* (L) Urban). Dimana perlemakan yang terjadi pada hati disebabkan oleh hilangnya kalium dari hepatosit, sehingga mengakibatkan gangguan transfer pada VLDL melalui membran sel.



Gambar 4 Penumpukan lemak di hati pada dosis 160 mg/kg BB untuk mencit No.1

Gambar 5 Penumpukan lemak di hati pada dosis 80 mg/kg BB untuk mencit No.2

4 KESIMPULAN

1. Senyawa aktif (triterpen) dari pegagan (*Centella asiatica* (L) Urban) dengan dosis 40 mg/kg BB terbukti mempunyai efek meningkatkan fungsi kognitif (belajar dan mengingat) pada mencit (*Mus musculus*) betina yang setara dengan pirasetam 500 mg/kg BB (p>0,05)
2. Senyawa aktif (triterpen) dari pegagan (*Centella asiatica* (L) Urban) menimbulkan efek toksisitas berupa perlemakan di hati (steatosis) pada dosis 160 mg/kg BB.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini adalah hasil penelitian yang didanai oleh Sumber DIPA UNSRI 2010. Oleh karenanya, penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan Lembaga Penelitian Universitas Sriwijaya dan semua pihak yang telah membantu, sehingga penelitian dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Gupta, Y. K., and Kumar, M. H.V. 2003. Effect of Centella asiatica on Cognition and Oxidative Stress in an Intracerebroventricular Streptozotocin Model of Alzheimer's Disease in Rats. *ClinExp. Pharmacol. Physiol 30:336-342*.

[2] Herlina. 2007. *Pengaruh Triterpen Total Pegagan (Centella asiatica (L) Urban) Terhadap Fungsi Kognitif (Belajar dan Mengingat) pada Mencit Jantan Albino (mus musculus) Yang Dihambat Dengan Skopolamin.* Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya. Tidak dipublikasikan.

PERBANDINGAN EFEK HIPOGLIKEMIK DARI BEBERAPA EKSTRAK BIJI PETAI CINA (*Leucaena leucocephala* (lmk)De Wit) PADA MENCIT YANG DIINDUKSI ALOKSAN

[1]Syamsudin, [1]Ros Sumarny, [2]Partomuan Simanjuntak
[1]Bagian Farmakologi, Fakultas Farmasi Universitas Pancasila
Jl. Srengseng Sawah, Jagakarsa Jakarta 12460
[2]Kimia Bahan Alam-Bioteknologi-LIPI
Jl. Raya Bogor, Km 46, Cibinong
syamsudin.abdillah@gmail.com

AbBSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk mengevaluasi efek hipoglikemik dari beberapa ekstrak *Leucaena leucocephala* (lmk)De Wit dengan kepolaran yang berbeda dan profil kromatogramnya dengan KLT. Uji hipoglikemik dilakukan secara *in vivo* dengan menggunakan mencit yang dibuat hiperglikemik yang diinduksi dengan aloksan. Mencit jantan dibagi menjadi 6 kelompok perlakuan dan kelompok kontrol, setiap kelompok terdapat 5 ekor mencit. Kelompok A diberikan ekstrak *n*-heksana dosis 0,5 g/kgBB, kelompok B diberikan ekstrak etilasetat dosis 0,5 g/kgBB, kelompok C diberikan ekstrak metanol dosis 0,5 g/kgBB, kelompok D diberikan ekstrak air dosis 0,5g/kgBB dan kelompok E diberikan ekstrak metanol langsung dosis 0,5g/kgBB semua ekstrak diberikan secara oral setiap hari selama 14 hari. Darah diambil langsung melalui pembuluh vena ekor pada hari ke-0, 3, 7 dan 14 diukur kadar glukosa darah dengan menggunakan glukometer. Hasil penelitian menunjukkan semua ekstrak memperlihatkan efek hipoglikemik tetapi ekstrak dengan pelarut polar seperti metanol langsung dan air memiliki aktivitas hipoglikemik yang lebih baik dibandingkan dengan ekstrak non polar seperti etilasetat dan *n*-heksana.

Kata Kunci*: Leucaena leucocephala* (lmk)De Wit, efek hipoglikemik, pelarut polar, pelarut non polar.

1 PENDAHULUAN

Diabetes melitus adalah penyakit degeneratif yang terdapat di masyarakat pada berbagai kelompok umur dan tingkat sosial ekonomi. Sindrom penyakit DM ditandai dengan hiperglikemia kronis yang merupakan manifestasi kelainan metabolisme karbohidrat, protein dan lemak atau berkaitan dengan defisiensi sekresi insulin pada membran sel target [1].

Setiap tahun jumlah penderita diabetes terus menerus meningkat. Pada tahun 2000 jumlah penderita diabetes di Indonesia mencapai 8.4 juta penderita dan menduduki peringkat ke-4 terbanyak setelah India, Cina dan USA [2]. Demikian juga data dari 7 rumah sakit di

Jakarta (RSCM, Fatmawati, Cikini, Pelni, Persahabatan, Husada dan St. Carolus) menunjukkan jumlah kasus kunjungan penderita rawat jalan terbanyak adalah diabetes [3].

Pemanfaatan tanaman telah dilakukan manusia sejak berabad-abad lalu sebagai pengobatan. Negara Indonesia adalah salah satu negara tropis yang kaya akan sumber daya alamnya. Keaneka ragaman hutan sebagai kekayaan alam hingga saat ini masih perlu digali dan diketahui potensinya sebagai sumber bahan obat termasuk antidiabetes [4]. Sesuai dengan perioritas penelitian, pengembangan dan penerapan IPTEK kesehatan bidang obat dan alat kesehatan periode 2005-2025 antara lain produk herbal terstandar dan fitofarmaka [5]. Dari sekian jenis tanaman yang digunakan sebagai obet tradisional antidiabetes adalah petai cina (*Leucaena leucocephala* (lmk) De Wit). Berdasarkan penelitian sebelumnya menunjukkan ekstrak biji petai cina dosis 0,5 g/kgBB yang diberikan pada tikus secara oral yang diinduksi dengan streptozotocin mampu menurunkan kadar glukosa darah, kolesterol total, LDL dan trigliserida serta meningkatkan kadar HDL [6]. Pada penelitian ini ingin dibandingkan efek hipoglikemik dari beberapa ekstrak biji petai cina yang diekstraksi dengan beberapa pelarut yang berbeda polaritasnya dengan tujuan untuk mengetahui aktivitas hipoglikemik dari masing-masing ekstrak serta propil kromatogramnya pada kromatografi lapis tipis (KLT).

2 METODOLOGI

Bahan penelitian: Biji petai cina diperoleh dari BALITRO Bogor dan dideterminasi di Herbarium Bogoriense, Bogor. Hewan coba yang digunakan adalah mencit (*Mus musculus*) jenis kelamin jantan dewasa galur Swiss-Webster, bobot badan 30-40 g dan berumur 3-4 bulan. Bahan kimia yang digunakan *n*-heksana, metanol, etilasetat, kloroform teknis dan bahan untuk analisa KLT.

Ekstraksi sampel: Biji petai cina dibuat serbuk kemudian direfluks 3x secara bertingkat menggunakan pelarut *n*-heksana, etilasetat, metanol dan air, serta dilakukan juga ekstraksi secara langsung dengan metanol. Masing-masing ekstrak diuapkan sampai didapat ekstrak kasar.

Uji aktivitas hipoglikemik: Sebelum diberikan perlakuan mencit disuntik dengan aloksan dosis 70 mg/kgBB secara IV, kemudian dilakukan pengambilan darah untuk mengetahui tingkat hiperglikemik dari hewan coba. Setelah mencit hiperglikemik kelompok mencit

dibagi 6 kelompok mencit hiperglikemik dan 1 kelompok mencit yang normal sebagai kontrol yang masing-masing terdiri dari 5 ekor.

(1) Kelompok kontrol normal : kelompok mencit yang tidak mendapat perlakuan dan hanya diberi makan dan minum.
(2) Kelompok kontrol negatif : kelompok mencit hiperglikemik dan diberikan air suling 2 mL secara oral selama 14 hari.
(3) Kelompok A : kelompok mencit hiperglikemik dan diberikan ekstrak *n*-heksana dosis 0,5 g/kgBB secara oral setiap hari selama 14 hari.
(4) Kelompok B : kelompok mencit hiperglikemik dan diberikan ekstrak etilasetat dosis 0,5 g/kgBB secara oral setiap hari selama 14 hari.
(5) Kelompok C :kelompok mencit hiperglikemik dan diberikan ekstrak metanol tidak langsung dosis 0,5 g/kgBB secara oral setiap hari selama 14 hari.
(6) Kelompok D : kelompok mencit hiperglikemik dan diberikan ekstrak air dosis 0,5 g/kgBB secara oral setiap hari selama 14 hari.
(7) Kelompok E :kelompok mencit hiperglikemik dan diberikan ekstrak metanol langsung dosis 0,5 g/kgBB secara oral setiap hari selama 14 hari.

Pada hari ke-0, 3, 7 dan 14 diambil darahnya melalui vena ekor dan diukur kadar glukosa darah dengan menggunakan glukometer.

Analisa KLT: Analisa KLT dilakukan untuk semua ekstrak dengan menggunakan eluen *n*-heksana : etilasetat = 2:1, kloroform : metanol = 5:1 dan kloroform: metanol : air =5:5:1 untuk mengetahui pola senyawa kimia yang berbeda-beda menurut polaritas.

Analisa data: Data diuji normalitas dan homogenitas terlebih dahulu, jika data berdistribusi normal dan homogen, data di analisis menggunakan ANAVA satu arah dengan menggunakan arus keberartian p=0.05 dan 0.01. Jika menunjukkan perbedaan bermakna, maka dilanjutkan dengan uji Tuckey untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang nyata antar kelompok perlakuan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan model hewan diabetes melitus dapat dilakukan dengan cara pankreotomi dan pemberian bahan kimia tertentu. Bahan kimia yang digunakan pada

penelitian ini adalah aloksan karena lebih selektif terhadap mencit dibandingkan dengan tikus dalam merusal sel β pankreas dan menimbulkan efek hiperglikemik dalam waktu 2-3 hari [7]. Sebelum digunakan dalam percobaan semua mencit dari masing-masing kelompok ditimbang berat badanya, kemudian dipelihara selama satu minggu. Hasil penimbangan berat badan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data rata-rata berat badan mencit setelah pemberian sediaan uji

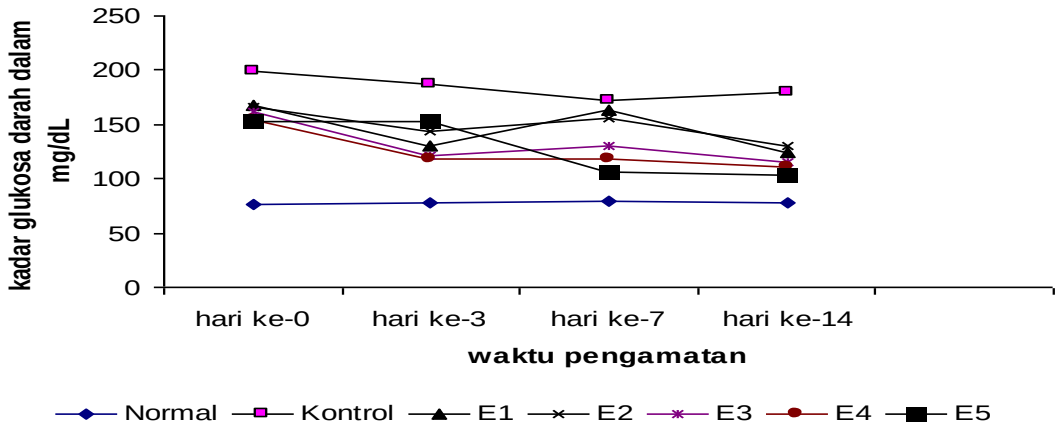
	Normal	Diabetes	A	B	C	D	E
Awal	31.7 ± 2.4	32.4 ± 2.4	34.1 ± 3.4	30.4 ± 4.5	36.8 ± 3.2	37.6 ± 3.9	35.0 ± 6.4
Hari ke-0	32.8 ± 4.3	24.8 ± 2.8	28.3 ± 4.2	24.7 ± 6.4	32.2 ± 6.3	33.2 ± 8.3	29.9 ± 4.2
Hari ke-3	33.9 ± 5.4	26.2 ± 4.3	29.2 ± 4.3	25.1 ± 3.4	34.2 ± 4.2	34.9 ± 3.8	31.1 ± 4.5
Hari ke-7	34.7 ± 3.2	26..9 ± 4.3	30.1 ± 5.7	27.6 ± 7.3	34.1 ± 5.7	35.7 ± 5.4	32.5 ± 6.9
Hari ke-14	35.8 ± 4.3	28.4 ± 2.5	30.2 ± 6.4	28.1 ± 4.8	35.2 ± 8.6	36.5 ± 7.8	33.3 ± 5.4

Tabel 1 menunjukkan pada hari ke-0 kondisi hiperglikemi kelompok mencit kontrol, A dan B mengalami penurunan berat badan. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya kelainan metabolisme glukosa dimana suplai energi tidak dapat dipenuhi sehingga terjadi deplesi sel lemak dan protein untuk memenuhi kebutuhan energi yang tidak dapat dipenuhi dari metabolisme glukosa. Pada hari ke-14 berat badan semua kelompok perlakuan mengalami peningkatan kembali meskipun belum mencapai berat badan kondisi awal. Hal ini kemungkinan disebabkan suplai energi yang sudah terpenuhi dari metabolisme glukosa yang ada. Hasil pengamatan jumlah makanan, volume minum, volume urin disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Data rata-rata volume air minum, volume urin dan jumlah makanan

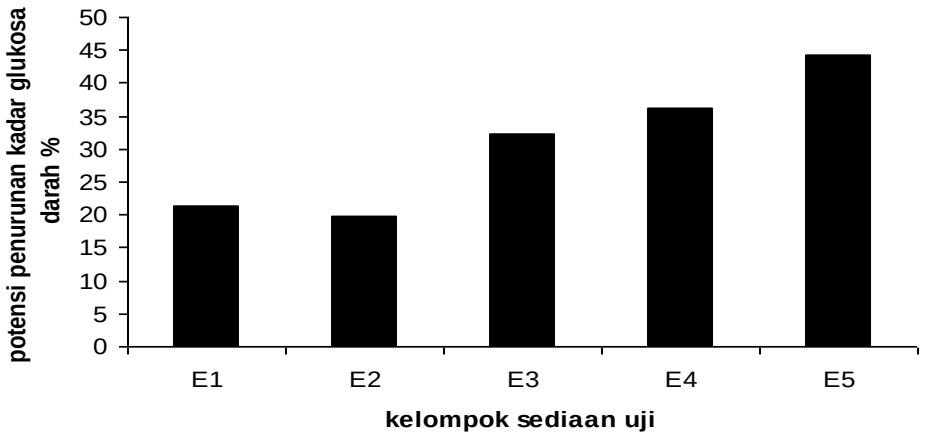
Kelompok	Volue air minum (mL)	Volume urin (mL)	Jumlah makanan (g)
Normal	7.60 ± 1.23	1.10 ± 0.92	3.67 ± 1.92
Diabetes	13.98 ± 3.41	3.46 ± 1.42	11.37 ± 1.32
A	7.80 ± 1.42	2.40 ± 1.31	5.37 ± 2.41
B	7.51 ± 1.34	2.44 ± 0.98	5.24 ± 1.52
C	6.14 ± 2.41	2.14 ± 1.34	4.73 ± 1.31
D	5.92 ± 2.45	2.06 ± 1.45	4.37 ± 2.34
E	5.98 ± 0.89	1.89 ± 1.03	4.95 ± 7.59

Tabel 2 menunjukkan pada kelompok diabetes volume air minum, volume urin lebih banyak dibandingkan dengan kelompok normal dan kelompok perlakuan, hal ini kemungkinan disebabkan adanya glukosuria pada kelompok yang mengalami hiperglikemik bersifat diuretik osmotik sehingga menyebabkan diuresis dengan disertai hilangnya elektrolit sebagai akibat tubuh berusaha mengatasinya dengan banyak inum (polidipsia). Jumlah makanan pada kelompok diabetes mengalami peningkatan (polifagia) bila dibandingkan dengan kelompok normal dan perlakuan, hal ini kemungkinan disebabkan adanya rangsangan di pusat nafsu makan di hipotalamus karena kurangnya pemakaian glukosa di dalam sel karena hiperglikemik. Pada penderita diabetes seringkali dijumpai tanda-tanda seperti poliuria, polidipsia dan polifagia. Pengamatan kadar glukosa darah disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Pengamatan kadar glukosa darah setelah pemberian sediaan uji

Gambar 1 menunjukkan kelompok perlakuan mengalami peningkatan kadar glukosa darah setelah diinduksi dengan aloksan secara IV dosis 70 mg/kgBB. Kondisi ini kemungkinan karena aloksan dapat merusak sel β pankreas yang mengeluarkan insulin. Pada penelitian lain menunjukkan pemberian ekstrak biji petai cina dosis 1 g/kgBB secara oral dapat meningkatkan kadar insulin sebesar 37.67% walaupun peningkatan ini masih dibawah glibenklamid sebesar 49.78%.[8] Setelah pemberian ekstrak pada semua kelompok perlakuan A-E menunjukkan adanya penurunan kadar glukosa darah baik pada hari ke-3, 7 dan 14. Gambar 1 diatas dapat digunakan untuk menganalisis potensi penurunan dari sediaan uji dalam menurunkan kadar glukosa darah berdasarkan luas daerah bawah kurva AUC. Hasil analisa AUC tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2 Potensi penurunan kadar glukosa darah dari semua kelompok ekstrak

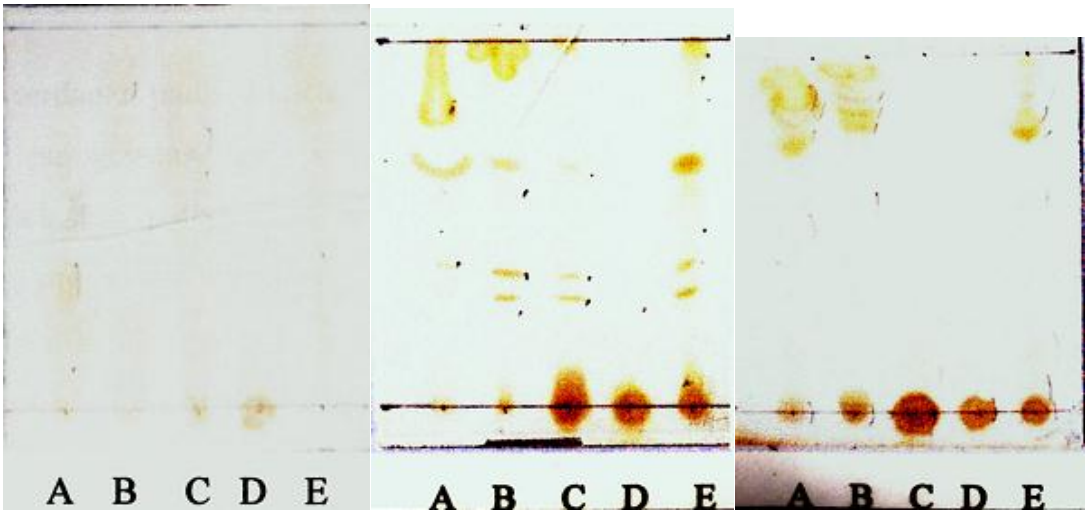
Gambar 2 menunjukkan kelompok E ekstraksi metanol langsung % penurunan kadar glukosa darah lebih besar dibandingkan dengan kelompok lainnya yaitu 44.38%, A n-heksana sebesar 21.29%, B etilasetat sebesar 19.67%, C ekstrak metanol tidak langsung sebesar 32.42% dan D ekstrak air sebesar 36.11%. Kelompok E dan D memiliki kemampuan paling besar dalam menurunkan kadar glukosa darah bila dibandingkan dengan kelompok lain. Hal ini kemungkinan karena E dan D merupakan pelarut polar dan mengandung golongan senyawa yang terdapat dalam ekstrak metanol tidak langsung C dan ekstrak air D. Diperkirakan yang memiliki kemampuan paling besar dalam menurunkan kadar glukosa darah adalah ekstrak dengan pelarut polar. Tabel 3 tersaji rendemen dari masing-masing ekstrak.

Tabel 3 Rendemen dari masing-masing ekstrak

Ekstrak	Rendemen (%)
n-heksana	2.19%
etilasetat	1.14%
metanol	5.42%
air	5.67%
metanol langsung	6.32 %

Tabel 3 menunjukkan rendemen ekstrak dengan pelarut polar seperti metanol, air dan metanol langsung lebih banyak dibandingkan dengan pelarut non polar (*n*-heksana) dan semi

polar (etilasetat). Ekstraksi bertingkat yang dilakukan dengan menggunakan pelarut yang berbeda polaritasnya dimaksudkan sebagai prefraksinasi awal karena dapat memisahkan golongan kimia yang terkandung didalam biji petai cina berdasarkan polaritasnya.



I II III

Keterangan:

I adalah kromatogram KLT dengan eluen kloroform: metanol : air 5:5:1
II adalah kromatogram KLT dengan eluen kloroform : metanol 5:1
III adalah kromatogram KLT dengan eluen n-heksana : etilasetat 2: 1

A : ekstrak n-heksana
B : ekstrak etilasetat
C : ekstrak metanol tidak langsung
D : ekstrak air
E : ekstrak metanol langsung

Hasil analisa KLT terhadap kelima ekstrak menunjukkan pada gambar III dengan eluen n-heksana : etilasetat = 2: 1, kromatogram A dan B menunjukkan adanya senyawa non polar seperti klorofil, santofil, asam lemak dan senyawa lain. Untuk kromatogram C, D dan E senyawa yang terdapat pada ekstrak tersebut tidak terelusi sempurna karena senyawa yang terdapat pada C, D dan E merupakan senyawa polar. Gambar II dengan eluen metanol : air = 5 : 1, kromatogram C, D dan E menunjukkan adanya senyawa polar yang nampak pada bagian Rf < 2, sedangkan gambar I dengan eluen kloroform: metanol : air 5:5:1 menunjukkan semua ekstrak terelusi sangat tinggi yang diakibatkan adanya pelarut air.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diatas menunjukkan semua ekstrak memiliki aktivitas hipoglikemik, namun ekstrak dengan pelarut polar seperti ekstrak metanol langsung dan ekstrak air menunjukkan aktivitas hipoglikemik lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut non polar seperti ekstrak *n*-heksana dan ekstrak etilasetat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Alberti, K.M and Zimmeti, P.Z 1998. Definition, diagnosis and clasification of diabetes mellitus and its complications. Part 1: Diagnosis and classification of DM. Povisional Report of a WHO consultation. Diab Med 15:539-553.

[2] Anonim. 2005. National Diabetes Mellitus, fact sheet. General information and national estimates on diabetes in the United States US. Departent of Health and Human Services. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Disease.

[3] Pusat Diabetes dan Lipid RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo. 1999. Penatalaksanaan DM terpadu. Jakarta. FKUI.

[4] Dallimarta, S. 2001. Ramuan Obat Tradisional untuk pengobatan Diabetes Melitus, Jakarta. Penebar Swadaya.

[5] Ristek. 2006. Buku Putih Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Kesehatan dan Obat. Kementrian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia.

[6] Syamsudin., Darmono and Simanjuntak, P. 2006. The effects of *Leucaena leucocephala* (lmk) De Wit seeds on blood sugar levels: An experiental study. *Int J of Science and Res* 2(1):49-52.

[7] Sumarny, R., Eriska, E dan Ibrahi, S. 2008. Efek proteksi dan hipoglikemik dari ekstrak biji petai cina (*Leucaena leucocephala* (lmk) De Wit pada tikus.

PENGARUH PEMANASAN DAN PENAMBAHAN ANTIOKSIDAN BHT PADA MINYAK BIJI KETAPANG (*Terminalia catappa* Linn.) DAN KINETIKA REAKSI OKSIDASI

Fahma Riyanti[1], Poedji Loekitowati H[2]. dan Rizki Muharrani[3]
[1,2,3]Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
fatechafj@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai "Pengaruh Pemanasan dan Penambahan Antioksidan BHT (Butil Hidroksi Toluen) pada Minyak Biji Ketapang (*Terminalia catappan Linn.*) dan Kinetika Reaksi Oksidasi". Hasil penelitian konsentrasi BHT terbaik adalah BHT 0,02% b/b terhadap waktu penyimpanan berdasarkan perubahan angka peroksida. Hasil penelitian diperoleh Angka peroksida sampai hari ke-14 penyimpanan, untuk minyak biji ketapang tanpa pemanasan yaitu 12,3 mek/kg minyak, minyak biji ketapang yang dipanaskan 200°C selama 2 jam yaitu 41,2 mek/kg minyak, minyak biji ketapang tanpa pemanasan dan ditambah BHT 0,02% tidak mengalami perubahan yaitu sebesar 2,5 mek/kg minyak, dan minyak biji ketapang yang dipanaskan 200°C dan ditambah BHT 0,02% tidak mengalami perubahan yaitu sebesar 16,5 % mek/kg. Orde reaksi untuk minyak biji ketapang tanpa pemanasan dan yang dipanaskan selama penyimpanan merupakan orde 1. Konstanta laju reaksi oksidasi untuk minyak tanpa pemanasan 0,0887/hari dan minyak yang dipanaskan 0,0896/hari serta energi aktivasi minyak biji ketapang adalah 67,6046 J/mol K.

Kata kunci: BHT, bilangan peroksida, kinetika reaksi oksidasi, kualitas minyak biji ketapang.

1 PENDAHULUAN

Tanaman ketapang merupakan salah satu tanaman yang berpotensi sebagai penghasil minyak nabati. Minyak nabati adalah minyak yang tersusun dari trigliserida atau asam lemak yang umumnya digunakan untuk bahan makan bagi manusia, bahan baku industri, bahan campuran minyak pelumas dan bahan baku biodiesel. Asam lemak yang mempunyai ikatan rangkap banyak atau *polyunsaturated fatty acids* (PUFA) menyebabkan minyak nabati sangat rentan terhadap oksidasi sehingga menyebabkan ketengikan. Proses oksidasi dapat terjadi karena beberapa hal antara lain: udara, cahaya, enzim, logam (Cu, Fe) [1]. Proses oksidasi asam lemak minyak dapat dicegah dengan cara menambahkan antioksidan, disimpan dalam *freezer* (dibekukan), dan pemanasan pendahuluan (*blanching*) [2].

Asam lemak umumnya terdapat pada tumbuhan terutama dalam bentuk terikat ester dengan gliserol sebagai lipida yaitu triasilgliserol atau trigliserida [3]. Ikatan tak jenuh yang ada dalam lipida merupakan pusat aktif yang dapat bereaksi dengan oksigen. Peroksidasi

(auto-oksidasi) lipida dapat menyebabkan kerusakan jaringan tubuh secara *in vivo* sehingga menimbulkan beberapa penyakit seperti kanker. Efek yang merusak ini ditimbulkan oleh radikal bebas (ROO*, RO*, OH*) yang dihasilkan saat pembentukan peroksida dari asam lemak. Untuk mengendalikan dan mengurangi peroksidasi lipida memerlukan antioksidan [4].

Proses kerusakan minyak dapat terjadi karena pemanasan yang mengakibatkan perubahan susunan kimiawi karena terurainya trigliserida menjadi gliserol dan asam-asam lemak [5]. Kerusakan minyak yang utama adalah timbulnya bau dan rasa tengik yang disebut proses ketengikan [2]. Peroksida merupakan hasil antara yang biasanya dipakai sebagai ukuran tingkat ketengikan. Ketengikan oksidatif merupakan reaksi autokatalitik dimana laju reaksi meningkat sejalan dengan meningkatnya waktu penyimpanan.

Penelitian tentang karakterisasi minyak biji ketapang (*Terminalia Catappa* Linn.*)* hasil pemurnian dengan karbon aktif menunjukkan bahwa minyak biji ketapang berpotensi sebagai minyak goreng [6]. Kerusakan minyak yang disebabkan oleh reaksi oksidasi dapat dihambat dengan menambahkan antioksidan. Loekitoati dkk (2009) telah meneliti kinetika reaksi oksidasi minyak biji ketapang *(Terminalia Catappa* Linn.) dan pengaruh penambahan antioksidan BHT (Butil Hidroksi Toluen) terhadap angka peroksida, selain belum memperoleh penambahan BHT optimum, pemanasan yang telah dilakukan pada temperatur $100^{\circ}C$ belum pada titik didih optimum pada minyak biji ketapang [7]. Oleh sebab itu dalam penelitian ini dipelajari lebih lanjut kegunaan penambahan BHT untuk menghambat oksidasi asam lemak yang dilakukan pada temperatur $200^{\circ}C$ dan perubahan bilangan peroksida terhadap waktu penyimpanan.

2 METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang dipergunakan adalah seperangkat alat gelas, alat titrasi, alat evaporasi, alat destilasi, alat sokletasi, alat sentrifiuse, buret, oven.

Bahan-bahan yang digunakan adalah biji ketapang, n-heksan, kertas saring kajangan, karbon aktif (*Charcoal Activated* produksi Jerman), *alumunium foil*, Na_2SO_4 anhidrid, akuades, asam asetat, kloroform, KI, amilum, indikator phenolphtalein, Alkohol, HCl, KOH dalam Alkohol, KIO_3, $Na_2S_2O_3.5H_2O$.

Prosedur Penelitian

Sampel biji ketapang berwarna merah tua dan kering diambil dari halaman gedung FMIPA Unsri Indralaya Ogan Ilir, Sumatera Selatan. Sampel dikeringkan dengan oven 110°C hingga berat konstan, lalu sampel dihaluskan, sampel siap untuk diekstraksi.

Ekstraksi minyak biji ketapang

Biji ketapang yang sudah dihaluskan dibungkus dengan kertas saring dan dimasukkan dalam tabung soklet untuk diekstraks dengan n-heksana. suhu 70°C selama 15 jam. Proses ekstraksi diulangi untuk mendapatkan minyak biji ketapang dalam jumlah yang cukup.

Perlakuan terhadap minyak biji ketapang

Minyak biji ketapang sebelum dianalisa dimurnikan terlebih dahulu dengan cara pengendapan (*settling*) dan pemisahan gumi (*degumming*) serta pemucatan atau *adsorbing agent*. Sebanyak 100 mL minyak biji ketapang hasil ekstraski disentrifiuse. Minyak dibiarkan selama beberapa waktu agar kotoran atau koloid mengendap selanjutnya minyak dipisahkan dari kotoran yang telah mengendap. Pemurnian selanjutnya adalah pemucatan dengan penambahan karbon aktif. Kedalam minyak tersebut ditambahkan Na_2SO_4 anhidrid 0,1 g tiap 10 mL minyak untuk menyerap kandungan air. Minyak yang telah mengalami pemurnian siap untuk dianalisa.

Penambahan BHT

Pengaruh antioksidan BHT terhadap minyak biji ketapang hasil pemurnian dengan variabel yang diamati bilangan peroksida dari hari ke nol sampai ke empat belas untuk minyak biji ketapang tanpa pemanasan dan minyak biji ketapang yang dipanaskan pada temperatur 200°C selama 2 jam. Sebanyak 50 mL minyak biji ketapang ditambahkan BHT sebanyak (0,008%; 0,012%; 0,016%; 0,02%; 0,024%) b/b kemudian diaduk selanjutnya dilakukan penyimpanan. Bilangan peroksida diamati sebelum penambahan BHT dan setelah penambahan setiap dua hari sampai hari ke empat belas dan setelah dua puluh hari dilakukan pengukuran kembali untuk menentukan angka peroksida hari tak terhingga (~) .

Penentuan bilangan peroksida

Minyak ditimbang sebanyak 2,5 g lalu ditambahkan campuran asam asetat-kloroform (3:2) sebanyak 15 mL lalu diaduk rata. Sampel ditambahkan dengan larutan KI jenuh diaduk dan didiamkan. Selanjutnya ke dalam minyak ditambahkan akuades, diaduk dan dititrasi dengan natrium tiosulfat. Larutan amilum 0,25 mL ditambahkan kedalam minyak dan titrasi dilanjutkan sampai warna birunya hilang [8].

Kinetika Reaksi Oksidasi Minyak Biji Ketapang

Pada penentuan kinetika reaksi oksidasi minyak biji ketapang hasil pemurnian variabel yang diamati adalah bilangan peroksida minyak yang dipanaskan pada temperatur 200°C selama 2 jam dan minyak tanpa pemanasan. Minyak pada dua kondisi tersebut disimpan selama 15 hari pada temperatur kamar. Bilangan peroksida diukur setiap dua hari mulai hari ke nol sampai hari ke empat belas.

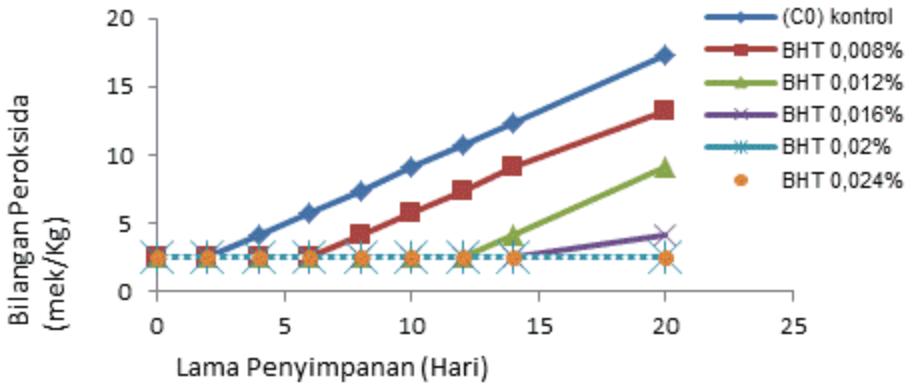
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Ekstraksi Minyak Biji Ketapang

Sampel dikeringkan dengan oven 110°C hingga berat konstan, lalu sampel dihaluskan dengan menggunakan lumpang dan alu, berat sampel yang diperoleh adalah 850,06357 g. Sampel di ekstraksi, ditimbang 50 g sampel biji ketapang per bungkus, kemudian di evaporasi, volume minyak biji ketapang yang diperoleh adalah 750 mL.

Hasil Analisa Angka Peroksida Minyak Biji Ketapang

Pengaruh penambahan variasi konsentrasi BHT (Butil Hidroksi Toluen) pada minyak biji ketapang untuk mempertahankan kualitas minyak dilakukan dengan menganalisa angka peroksida selama penyimpanan. Analisa angka peroksida dilakukan pada minyak biji ketapang tanpa pemanasan dan minyak biji ketapang yang dipanaskan selama penyimpanan hingga hari tak terhingga. Pengaruh penambahan variasi konsentrasi BHT pada minyak biji ketapang tanpa pemanasan terhadap angka peroksida minyak biji ketapang dapat dilihat pada Gambar 1.

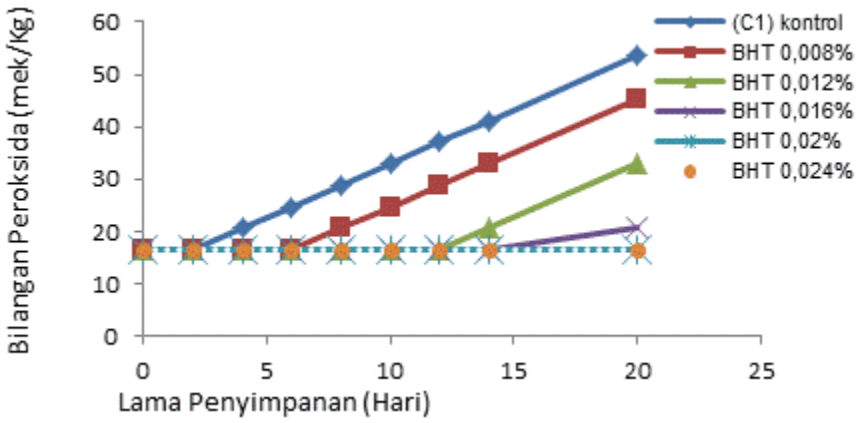


Gambar 1 Grafik perbandingan Peningkatan Angka Peroksida Minyak Biji Ketapang Tanpa Pemanasan Selama Penyimpanan.

Gambar 1 memperlihatkan terjadinya perubahan angka peroksida pada minyak biji ketapang yang tidak ditambah BHT ((C0) kontrol) dengan minyak biji ketapang yang di tambah variasi konsentrasi BHT yaitu 0,008%; 0,012%; 0,016%; 0,02%; dan 0,024% selama penyimpanan. Hasil analisa selama penyimpanan pada minyak biji ketapang yang ditambah konsentrasi BHT 0,008%; 0,012%; dan 0,016% angka peroksida meningkat melebihi nilai 2,5 mek/kg sampai hari tak terhingga selama penyimpanan, hal ini karena konsentrasi BHT yang masih rendah sehingga tidak dapat menghambat reaksi oksidasi selama penyimpanan, mekanisme kerja dari antioksidan BHT dalam menghambat radikal bebas memberikan atom hidrogen secara cepat kepada senyawa radikal, kemudian radikal antioksidan yang terbentuk segera berubah menjadi senyawa yang lebih stabil. Minyak biji ketapang dengan penambahan BHT 0,02% dan 0,024% waktu penyimpanan dari hari ke nol sampai hari tak terhingga angka peroksidanya 2,5 mek/kg minyak tidak mengalami peningkatan hal ini berarti bahwa semakin banyak BHT yang ditambahkankan maka semakin menghambat terjadinya proses oksidasi. Pada penelitian ini penambahan antioksidan konsentrasi BHT 0,02 % minyak sebagai antioksidan terbaik selama penyimpanan hari tak terhingga memenuhi standar penggunaan Antioksidan BHT maksimum sebesar 200 ppm atau 0,02 % [9]. Pada (C0) kontrol setelah hari ke dua samapai hari tak terhingga penyimpanan terjadi peningkatan angka peroksida sebesar 17,3 mek/kg minyak, ini disebabkan tanpa penambahan antioksidan BHT menyebabkan minyak biji ketapang mudah untuk teroksidasi. BHT merupakan senyawa yang

dapat memperlambat reaksi oksidasi di dalam bahan dengan kadar lemak tinggi atau rendah [10].

Pengaruh penambahan varias konsentrasi BHT pada minyak biji ketapang yang dipanaskan pada temeratur 200°C terhadap angka peroksida minyak biji ketapang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik Perbandingan Peningkatan Bilangan Peroksida Minyak Biji Ketapang yang dipanaskan pada temperatur 200°C selama penyimpanan.

Gambar 2 memperlihatkan minyak biji ketapang yang dipanaskan ditambah konsentrasi BHT 0,02% dan 0,024% memiliki ketahanan yang lebih lama terhadap oksidasi selama penyimpanan dari hari ke nol sampai hari tak terhingga dibandingkan minyak biji ketapang dengan penambahan konsentarsi BHT 0,008%; 0,012%; dan 0,016% sampai hari tak terhingga penyimpanan. Penjelasan dari efektifitas kerja antioksidan BHT sama dengan penjelasan Gambar 1. Pada (C1) kontrol setelah hari ke dua sampai hari tak terhingga terjadi peningkatan angka peroksida sebesar 53,5 mek/kg minyak, hal ini disebabkan tanpa penambahan konsentrasi BHT dan minyak yang terpapar cahaya/panas walaupun dalam waktu yang singkat, akan mengalami reaksi oksidasi yang menyebabkan kerusakan lemak/minyak [1]. Hasil analisa minyak biji ketapang menunjukkan konsentrasi BHT yang terbaik adalah BHT 0,02% selama penyimpanan hingga hari tak terhingga dengan angka peroksida adalah 16,5 mek/kg.

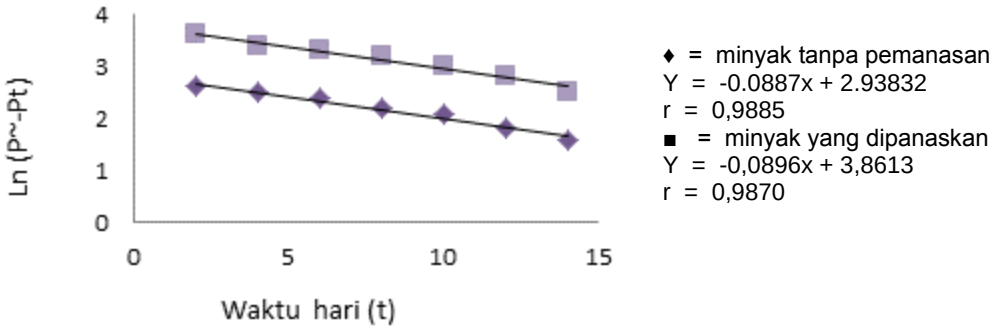
Kerusakan oksidasi terjadi pada asam lemak tak jenuh (memiliki ikatan rangkap), tetapi bila minyak dipanaskan suhu 100°C atau lebih, asam lemak jenuh pun dapat teroksidasi. Oksidasi pada proses penggorengan suhu 200°C lebih memudahkan kerusakan berupa reaksi oksidasi terutama pada minyak dengan derajat ketidakjenuhan tinggi sedangkan hidrolisis mudah terjadi pada minyak dengan asam lemak jenuh rantai panjang.

Kinetika Reaksi Oksidasi Minyak Biji Ketapang

Penentuan kinetika reaksi oksidasi minyak biji ketapang dilakukan dengan menggunakan metode integrasi dalam menentukan orde reaksinya. Orde reaksi untuk minyak tanpa pemanasan dan yang dipanaskan dapat diduga apakah orde 1, orde 2 atau orde 3. Apabila dugaan tersebut tepat, maka akan dihasilkan hubungan yang linier antara perubahan angka peroksida ln (P~-Pt) terhadap waktu (hari) dan akan diperoleh harga tetapan laju reaksi (k) yang tetap atau bila dibuat grafiknya akan memberikan suatu garis lurus [11].

Perhitungan nilai regresi menunjukkan bahwa dugaan terhadap orde reaksi 1 menghasilkan hubungan yang lebih linier dibandingkan dengan dugaan terhadap orde reaksi lain yaitu orde 2 dan 3. Dugaan untuk orde reaksi 1 menghasilkan nilai regresi untuk minyak biji ketapang tanpa pemanasan ((C0) kontrol), yaitu 0,9885 sedangkan nilai regresi untuk minyak biji ketapang yang dipanaskan ((C1) kontrol), yaitu 0,9870 sehingga kedua sampel minyak biji ketapang ini yang lebih mendekati 1. Hal ini berarti bahwa orde reaksi adalah benar orde reaksi 1 sehingga dari persamaan ln(P~-Pt) = -kt + ln P~ -Po, maka diperoleh grafik antara ln (P~-Pt) (perubahan angka peroksida) dan t (waktu penyimpanan) yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 3. terlihat bahwa semakin lama penyimpanan, terjadi penurunan nilai ln (P~-Pt) yang berbanding lurus dengan t (waktu) sedangkan untuk orde reaksi 2 dan 3 grafik yang terbentuk kurang linier dibandingkan grafik dengan orde 1 dimana semakin lama penyimpanan, dari persamaan orde reaksi 2 dan 3 terjadi kenaikan nilai $1/(\mathrm{P}\sim - \mathrm{P})$ dan $1/(P\sim - P)^2$. Hal ini menunjukkan bahwa grafik orde reaksi antara ln (P~-Pt) dan t (waktu) adalah benar orde 1.



Gambar 3 Grafik lama penyimpanan (t) terhadap perubahan angka peroksida Ln (P~-Pt) dari minyak biji ketapang.

Penentuan konstanta laju reaksi dapat ditentukan dengan harga slope (-k), konstanta laju untuk minyak tanpa panasan sebesar 0,0887/hari dan untuk minyak yang dipanaskan sebesar 0,0896/hari. Berdasarkan data konstanta laju reaksi tersebut, konstanta laju reaksi untuk minyak yang dipanaskan lebih besar dibandingkan minyak tanpa pemanasan. Hal ini sesuai dengan persamaan Arrhenius yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan maka laju reaksi akan semakin besar [11].

Energi aktivasi dapat ditentukan dari konstanta laju reaksi pada temperatur yang berbeda [11]. Penentuan energi aktivasi dari minyak biji ketapang ditentukan dari nilai konstanta laju reaksi minyak yang dipanaskan dan tanpa pemanasan berdasarkan persamaan Arrhenius hasil perhitungan energi aktivasi untuk minyak biji ketapang adalah sebesar 72,0753 J/mol K. Penentuan kinetika reaksi oksidasi minyak biji ketapang dapat diperoleh dengan menghitung perubahan angka peroksida minyak tanpa pemanasan dan minyak yang dipanaskan.

4 KESIMPULAN

1. Angka peroksida minyak biji ketapang pada hari ke empat belas untuk minyak tanpa pemanasan yaitu 12,3 mek/kg minyak, dan untuk minyak yang dipanaskan 200°C yaitu 41,2 mek/kg minyak, sedangkan angka peroksida minyak tanpa pemanasan dan ditambah BHT 0,02% tidak mengalami perubahan selama penyimpanan sampai hari tak hingga yaitu sebesar 2,5 mek/kg minyak. Untuk minyak yang dipanaskan 200°C dan ditambah

BHT 0,02% tidak mengalami perubahan selama penyimpanan sampai hari tak hingga yaitu sebesar 16,5 % mek/kg.

2. Orde reaksi minyak biji ketapang tanpa pemanasan dan yang dipanaskan selama penyimpanan merupakan orde 1. Konstanta laju reaksi oksidasi untuk minyak tanpa pemanasan 0,0887/hari dan minyak yang dipanaskan 0,0896/hari serta energi aktivasi minyak biji ketapang adalah 72,0753 J/mol K.

Terimakasih

Ucapan terimakasih kami haturkan kepada Dikti dan Lembaga Pengabdian Unsri yang telah memberikan bantuan dana melalui program Penelitian Dasar 2009

DAFTAR PUSTAKA

[1] Chan, H.W.S. 2005. In : *Autoxidation of Unsaturated Lipid.* Ed: Chan, H.W.S. Academic Press, New York, p.1.

[2] Winarno, F.G. 2002. *Kimia Pangan dan Gizi*, PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta

[3] Hart, H., Craine, L. E. dan Hart, D. J. 2003.*Kimia Organik*. Edisi 11. Erlangga, Jakarta.

[4] Wirahadikusuma. 1985. *Biokimia: Metabolisme Energi, Karbohidrat dan Lipid*. Penerbit ITB, Bandung.

[5] Aminah, R. 2002. *Pengaruh Pemanasan Pada Minyak Goreng Yang Diobservasi Pada Tikus Putih*, Pusat Penelitian Penyakit Tidak Menular. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Departemen Kesehatan R.I. Jakarta.

[6] Riyanti, F & Loekitowati H.,P . 2009. *Karakterisasi Minyak Biji Ketapang (Terminalia Catappa Linn) Hasil Pemurnian dengan Karbon Aktif.* Laporan Penelitian Sriwijaya. Inderalaya.

[7] Loekitoati H.,P & Fahma, Munjiatun. 2009. Kajian Kinetika reaksi oksidasi minyak biji ketapang dan pengaruh penambahan antioksidan. Laporan penelitian Dasar Universitas Sriwijaya.

[8] Badan Standarisasi Nasional. 1998. *Cara Uji Minyak dan Lemak*. SNI 01-3555.

[9] Deman, J.M. 1997. *Kimia Makanan.* edisi kedua. ITB. Bandung.

[10] Cahyadi, Wisnu. 2005. *Bahan Tambahan Pangan*, Bandung. Bumi Aksara.

[11] Avery, H E. 2007. *Basic Reaction Kinetics and Mechanics*. Formerly Principal Lecturer in Chemistry, Lanchester Polytechnics Coventry.

AKTIVITAS ANTIOKSIDAN SEDIAAN JAMU DAN EKSTRAK ETANOL TEMULAWAK (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.), KUNYIT (*Curcuma longa* Linn.), DAN MENIRAN (*Phyllanthus niruri* Linn.)

Waras Nurcholis[1,2], Tyas Ayu Lestari[1], Theresia Pratiwi[1], Kartika[1]
[1]Departemen Biokimia-FMIPA, Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680
[2]Pusat Studi Biofarmaka-LPPM, Institut Pertanian Bogor, Bogor 16151

ABSTRAK

Rimpang temulawak, rimpang kunyit dan herba meniran merupakan tanaman obat Indonesia yang dalam bentuk tunggal berkhasiat sebagai antioksidan. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan aktivitas antioksidan dari sediaan Jamu dan kombinasi ekstrak dari temulawak, kunyit, dan meniran. Sediaan Jamu dan ekstrak dari temulawak, kunyit dan meniran disiapkan berdasarkan *equal formulation*. Penentuan aktivitas antioksidan dari masing-masing sediaan ditentukan dengan metode radikal bebas *2,2 difenil-1-pikrilhidrazil* (DPPH). Aktivitas antioksidan ditentukan berdasarkan nilai IC_{50}. Nilai IC_{50} untuk semua Jamu dan kombinasi ekstrak secara berurutan berada dalam range antara 45.98 – 159.41 µg/mL dan 45.52 – 85.30 µg/mL.

Kata kunci: temulawak, kunyit, meniran, Jamu

1 PENDAHULUAN

Sediaan herbal Indonesia saat ini sudah berkembang sangat maju dan menjadi industri dengan omset keuntungan yang cukup tinggi. Pada prinsipnya terdapat dua acuan penyediaan sediaan herbal, yaitu berdasarkan sediaan Jamu dan materia medika (*western medicine*). Jamu merupakan salah satu kekayaan warisan lelulur Indonesia sebagai obat tradisional Indonesia. Jamu dibuat dengan mengkombinasikan beberapa sediaan tanaman obat baik pada bahan simplisia ataupun bahan baku yang masih segar. Bahan jamu diperoleh dari tanaman-tanaman obat Indonesia mulai dari akar/ rimpang, daun, buah, bunga, maupun kulit kayu. Secara tradisional, Jamu yang dibuat digunakan untuk menjaga kesehatan, menyembuhkan berbagai penyakit dan merawat kecantikan. Sedangkan, sediaan herbal barat (*western medicine*) didasarkan pada kombinasi herbal pada tingkat ekstrak. Sehingga dimungkinkan adanya perbedaan khasiat dari sediaan Jamu dengan sediaan pada tingkat ekstrak.

Radikal bebas atau reaktif oksigen spesies dapat dihasilkan dari proses metabolisme dalam tubuh dan/atau dari lingkungan seperti paparan radiasi, ozon, asap rokok, polusi udara dan kimia-kimia industri [1, 2]. Reaktif oksigen spesies dan radikal bebas dapat bereaksi

yang menyebabkan terjadinya berbagai proses degeneratif atau patologi seperti penuaan [3, 4], kanker, penyakit jantung koroner, dan penyakit Alzheimer's [5, 6, 7]. Antioksidan merupakan substansi penting dalam menunda atau mencegah proses degeneratif atau patologi karena oksidasi komponen sel oleh radikal bebas [8]. Meskipun dalam tubuh manusia mampu memproduksi enzim antioksidan (antioksidan endogen) untuk menetralisasi radikal bebas [9], dianjurkan untuk memberi asupan antioksidan eksogen dalam membantu melindungi tubuh manusia dari radikal bebas yang berlebih. Beberapa tanaman obat Indonesia yang dapat berkhasiat sebagai antioksidan adalah temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) [10], kunyit (*Curcuma longa* Linn.) [11], dan meniran (*Phyllanthus niruri* Linn.) [12, 13]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan aktivitas antioksidan dari sediaan Jamu dan kombinasi ekstrak dari temulawak, kunyit, dan meniran yang sudah diketahui khasiatnya sebagai antioksidan.

2 BAHAN DAN METODE

Bahan

Kegiatan penelitian ini menggunakan serbuk kering simplisia yang terdiri atas rimpang temulawak, rimpang kunyit, dan daun meniran yang diperoleh dari Unit Konservasi dan Budidaya Biofarmaka, Pusat Studi Biofarmaka-LPPM IPB pada bulan Juni 2010. Kadar air rimpang temulawak, rimpang kunyit dan daun meniran berturut-turut adalah 15.13, 9.37, dan 7.22%. Ekstraksi menggunakan etanol 96%. Analisis aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH, bahan-bahan yang digunakan adalah *2,2 difenil-1-pikrilhidrazil* (DPPH) 1 mM, metanol, dan sediaan ekstrak.

Persiapan sediaan sampel

Tiga herbal Indonesia, yaitu temulawak, kunyit, dan meniran dibuat menjadi sediaan Jamu dan kombinasi ekstrak. Kombinasi dilakukan dengan menggunakan prinsip *equal formulation* dengan asumsi khasiat antioksidan dari tiga tanaman obat yang digunakan adalah sama. Sehingga kombinasi sediaan terdiri atas 7 sediaan, yaitu 1:1:1; 1:1:0; 1:0:1; 0:1:1; 1:0:0; 0:1:0; 0:0:1 dari kombinasi meniran:kunyit:temulawak (M:K:T).

Sediaan Jamu dibuat dengan kombinasi simplisia meniran, kunyit, dan temulawak sebelum diekstraksi. Total 30 g simplisia gabungan diekstraksi berdasarkan teknik BPOM [14] yaitu

maserasi dengan 150 mL etanol 96% selama 2x24 jam. Semua maserat yang diperoleh dikumpulkan dan diuapkan menggunakan penguap putar Buchii R-114 dan *rotary evavorator* sampai diperoleh ekstrak kental menyerupai pasta. Teknik ekstraksi yang sama digunakan untuk membuat sediaan kombinasi ekstrak (*western medicine*), masing-masing sediaan kombinasi ekstrak dibuat dengan total ekstrak sebanyak 3 g. Seluruh sediaan disimpan dalam *freezer* dan siap digunakan untuk analisis antioksidan.

Analisis aktivitas antioksidan melalui metode DPPH

Aktivitas antioksidan sediaan diukur berdasarkan kemampuan sediaan menangkap radikal bebas melalui uji *2,2 difenil-1-pikrilhidrazil* berdasarkan Hanani *et al*., [15] yang dimodifikasi. Konsentrasi sediaan dibuat dalam range dari 25 – 800 µg/mL, selanjutnya ditambah dengan 1 mL DPPH (1 mM dalam metanol). Volume dicukupkan sampai 5 mL, kemudian diinkubasi pada 37°C selama 30 menit, selanjutnya serapannya diukur pada 517 nm dengan spektrofotometer UV-Vis. Nilai Absorbansi yang diperolah digunakan untuk mendapatkan % penangkapan radikal dan digunakan untuk mendapatkan persamaan regresi $Y = a + b \ln x$. Nilai IC_{50} masing-masing sediaan dihitung dengan menggunakan persamaan regresi. IC_{50} yang paling rendah menunjukkan aktivitas antioksidan yang paling baik. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali ulangan (n = 3).

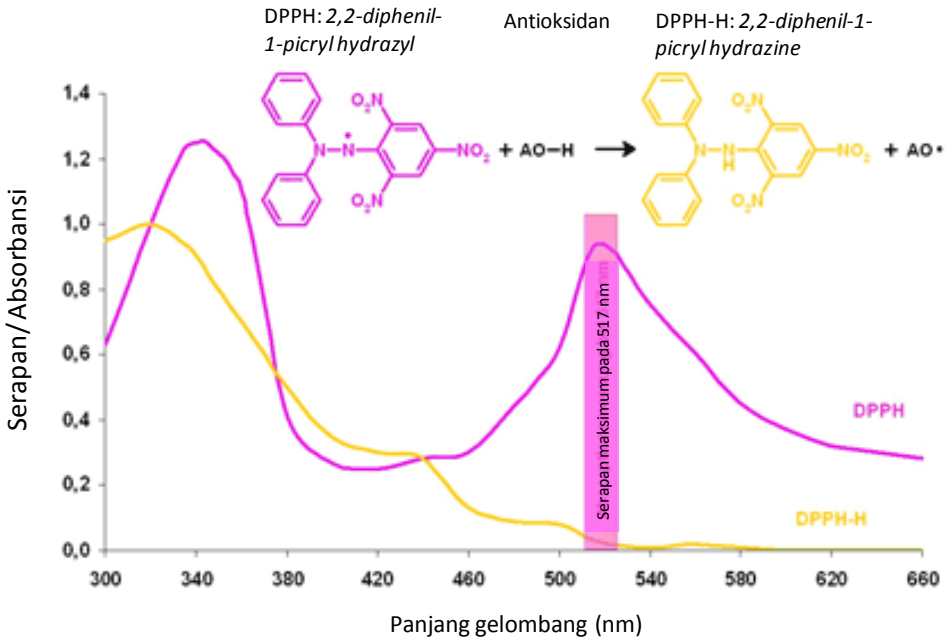
Analisis statistik

Data dianalisis dengan *Statistical Package Social Science* (SPSS) 17. *One-way ANOVA* digunakan untuk menunjukkan adanya perbedaan nilai rata-rata antara sediaan uji.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji antioksidan DPPH didasarkan pada kemampuan *2,2 difenil-1-pikrilhidrazil* (DPPH), sebuah radikal bebas yang stabil, untuk membentuk senyawa tak berwarna dengan bereaksi dengan suatu antioksidan. Radikal DPPH mengandung elektron ganjil yang berwarna ungu tua dan bertanggung jawab dalam serapan maksimum pada 517 nm (Gambar 1). Ketika DPPH menerima donor elektron dari suatu senyawa antioksidan maka DPPH menjadi tidak berwarna, dan secara kuantitatif dapat dihitung kapasitas antioksidan melalui perubahan serapan. Sehingga pemanfaatan radikal DPPH untuk penelusuran aktivitas

scavenging dari beberapa senyawa bahan alam semakin luas. DPPH secara luas telah digunakan untuk melakukan evaluasi aktivitas antioksidan senyawa bahan alam [16]. Aktivitas DPPH *scavenging* menunjukkan adanya kemampuan senyawa antioksidan untuk mendonorkan elektron atau hidrogen, sehingga mengubah radikal menjadi spesies yang lebih stabil [17].

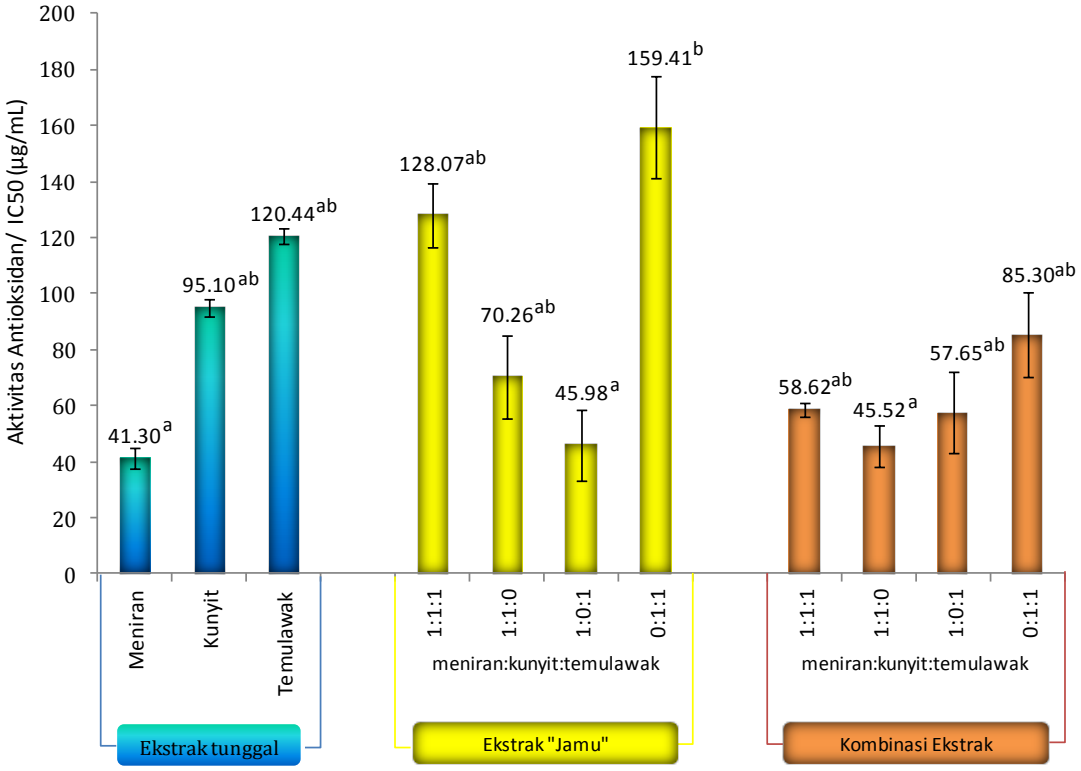


Gambar 1 Prinsip uji antioksidan (DPPH)

Hasil aktivitas *scavenging* radikal bebas DPPH dari ekstrak tunggal, ekstrak "Jamu", dan kombinasi ekstrak tanaman obat meniran, kunyit, dan temulawak ditunjukkan pada Gambar 2. Aktivitas antioksidan dari ekstrak sediaan dinyatakan dengan nilai IC_{50}, yaitu konsentrasi sampel yang dibutuhkan untuk menghambat 50% aktivitas DPPH [18]. Makin rendah nilai IC_{50} suatu bahan, makin tinggi aktivitas antioksidannya. Aktivitas *scavenging* radikal tertinggi untuk ekstrak tunggal dihasilkan oleh ekstrak etanol meniran (nilai IC_{50}, 41.30 µg/ mL), yang diikuti oleh ekstrak kunyit dan temulawak dengan nilai IC_{50} secara berurutan adalah 95.10 dan 120.44 µg/ mL. Untuk ekstrak jamu, aktivitas *scavenging* radikal tertinggi dihasilkan pada kombinasi simplisia 1:0:1 (meniran:kunyit:temulawak, dengan nilia IC_{50} sebesar 45.98 µg/ mL), selanjutnya diikuti oleh kombinasi simplisia pada 1:1:0 dan 1:1:1

dengan nilai IC_{50} secara berurutan adalah 70.26 dan 128.07 μg/ mL. Aktivitas *scavenging* radikal terendah dihasilkan oleh ekstrak jamu pada kombinasi 0:1:1 (meniran:kunyit:temulawak, dengan nilai IC_{50} 159.41 μg/ mL). Sedangkan untuk kombinasi pada tingkat ekstrak, aktivitas *scavenging* radikal tertinggi dihasilkan pada kombinasi ekstrak 1:1:0 (meniran:kunyit:temulawak, dengan nilia IC_{50} sebesar 45.52 μg/ mL), selanjutnya diikuti oleh kombinasi ekstrak 1:0:1 dan 1:1:1 dengan nilai IC_{50} secara berurutan adalah 57.65 dan 58.62 μg/ mL. Aktivitas *scavenging* radikal terendah untuk kombinasi ekstrak dihasilkan pada kombinasi 0:1:1 (meniran:kunyit:temulawak, dengan nilai IC_{50} 83.30 μg/ mL). Secara keseluruhan, mulai dari ekstrak tunggal, ekstrak jamu dan kombinasi ekstrak dari tanaman obat meniran, kunyit dan temulawak mempunyai aktivitas antioksidan yang kuat, karena mempunyai nilai IC_{50} kurang dari 200 μg/ mL [19]. Pada umumnya kombinasi ekstrak lebih baik dalam meningkatkan aktivitas antioksidan dibandingkan dengan kombinasi sediaan jamu. Meskipun secara statistik dua sediaan tersebut tidak berbeda nyata pada $p < 0.05\%$.

Penelitian ini menggunakan ekstrak kasar, sehingga masih dimungkinkan adanya senyawa murni yang memiliki aktivitas peredaman radikal bebas lebih kuat dibandingkan ekstraknya. Polifenol merupakan senyawa yang umum dalam tumbuhan yang berkhasiat sebagai antioksidan [20]. Tipe fenolik yang diketahui berkhasiat sebagai antioksidan adalah asam fenolik dan flavonoid [21]. *Phyllanthin, hypophyllanthin* dan flavonoid, seperti *niruriflavone, gallic acid* dan *ellagic acid* merupakan senyawa fenolik yang ada dalam meniran [22]. Kurkuminoid dan diarylheptanoid merupakan senyawa fenolik yang terdapat dalam temulawak [23]. Kurkuminoid merupakan senyawa fenolik yang ada dalam kunyit [24, 25, 26].



Gambar 2 Hasil aktivitas *scavenging* radikal bebas DPPH ekstrak tunggal, ekstrak "Jamu", dan kombinasi ekstrak dari tanaman obat meniran, kunyit, dan temulawak. Nilai dinyatakan dalam rata-rata dari 3 ulangan; Huruf yang berbeda secara signifikan berbeda pada $p<0.05$.

Kombinasi dikatakan sinergi jika kombinasi dapat memberikan aktivitas 2 kali lebih tinggi [27]. Sehingga, dapat dikatakan data hasil pengujian aktivitas antioksidan baik dari ekstrak jamu (kombinasi simplisia) dan kombinasi ekstrak dari tanaman meniran, kunyit, dan temulawak tidak memberikan pengaruh sinergi dari kombinasi herbal yang diberikan. Meskipun pada konteks Jamu, memiliki sinergi lebih rendah masih berguna karena kombinasi dapat berkontribusi pada banyak efek khasiat [28]. Pengujian antioksidan pada penelitian ini dilakukan secara *in vitro*, yang secara teori mudah untuk menguji jutaan kombinasi, namun teknik *in vitro* tersebut memiliki kelemahan karena mengabaikan sistem mekanisme metabolisme, yaitu sinergi farmakodinamik dari metabolit-metabolit yang dikombinasikan dan sinergi farmakokinetik [28]. Sebagai contoh daun teh kering *Quassia amara* yang sangat aktif pada uji in vivo dibanding dengan in vitro [29].

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Kombinasi ekstrak memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sediaan ekstrak jamu. Kombinasi ekstrak 1:1:0 memiliki aktivitas antioksidan tertinggi (nilia IC_{50}, 45.52 μg/ mL), selanjutnya diikuti oleh kombinasi ekstrak 1:0:1, 1:1:1 dan 0:1:1 dari meniran:kunyit:temulawak dengan nilai IC_{50} secara berurutan adalah 57.65, 58.62, 83.30 μg/ mL. Aktivitas antioksidan tertinggi pada ekstrak jamu dihasilkan dari kombinasi simplisia 1:0:1 (nilia IC_{50}, 45.98 μg/ mL), selanjutnya diikuti oleh kombinasi simplisia pada 1:1:0, 1:1:1 dan 0:1:1 dengan nilai IC_{50} secara berurutan adalah 70.26, 128.07, dan 159.41 μg/ mL.

Untuk mempelajari pengaruh sinergi farmakodinamik dan sinergi farmakokinetik dari metabolit-metabolit yang dikombinasikan baik dari meniran, kunyit, dan temulawak maka perlu dilakukan evaluasi kombinasi sediaan dari ke tiga tanaman tersebut pada tingkat *in vivo*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Diplock AT.1994. Free radical damage and control. In: Rice Evans CA and Burden RH, ed. Antioxidant and free radical scavengers. Elsevier, New York, USA.

[2] Thomson MJ. 1995. The role of free radicals and antioxidants; How do we know that they are working? *Critical Reviews of Food Science and Nutrition.* 35:21-29.

[3] Ames BN, Shigena MK,. Hegen TM. 1993. Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging. *Proc.Nat. Acad. Sci*. USA 90: 7915-7922.

[4] Harman D. 1995. Role of antioxidant nutrients in aging: overview. *Age* 18: 51-62.

[5] Ames BN. 1983. Dietary carcinogens and anticarcinogens: oxygen radicals and degenerative diseases. *Science* 221: 1256-1264.

[6] Gey KF. 1990. The antioxidant hypothesis of cardiovascular disease: epidemiology and mechanisms. *Biochem. Soc. Trans*. 18: 1041-1045.

[7] Diaz MN, Frei B, Vita JA, Keaney JF. 1997. Antioxidants and atherosclerotic heart disease. *N. Engl. J. Med.* 337: 408-416.

[8] Jaitak V, Sharma K, Kalia K, Kumar N, Singh HP, Kaul VK, Singh B. 2010. Antioxidant activity of Potentilla fulgens: An alpine plant of western Himalaya. *J. Food Compost. Anal.* 23: 142-147.

[9] Rimbach G, Fuchs J, Packer L. 2005. Application of nutrigenomics tools to analyze the role of oxidants and antioxidants in gene expression. In: Rimbach G, Fuchs J, Packer L (eds.), Nutrigenomics, Taylor and Francis Boca Raton Publishers, FL, USA. pp. 1-12

[10] Masuda T, Isobe J, Jitoe A, Nakataw N. 1992. Antioxidative curcuminoids from rhizomes of *Curcuma xanthorrhiza*. *Phytochemistry*. 31: 3645-3647

[11] Deshpande UR, Gadre SG, Raste AS, Pillai D, Samuel AM. 1998. Protective effect of turmeric (*Curcuma longa* L.) extract on carbon tetrachloride-induced liver damage in rats. *Indian J. Exp. Biol.* 36: 573-577.

[12] Chatterjee M, Sil PC. 2006. Hepatoprotective effect of aqueous extract of Phyllanthus niruri on nimesulide-induced oxidative stress in vivo. *Indian J. Biochem. Biophys.* 43: 299-305.

[13] Bhattacharjee R, Sil PC. 2006. The Protein fraction of Phyllanthus niruri plays a protective role against acetaminophen induced hepatic disorder via its antioxidant properties. *Phytother. Res.* 20: 595-601.

[14] [BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2004. Monografi Ekstrak Tumbuhan Obat Indonesia. Volume 1. Jakarta: Badan POM RI.

[15] Hanani E, Munim A, Sekarini R. 2005. Identifikasi senyawa antioksidan dalam spons *Callyspongia* sp dari kepulauan seribu. *Majalah Ilmu Kefarmasian* 3: 127-133.

[16] Udenigwe CC, Lu YL, Han CH, Hou WC, Aluko RE. 2009. Flaxseed protein-derived peptide fractions: Antioxidant properties and inhibition of lipopolysaccharide-induced nitric oxide production in murine macrophages. *Food. Chem.* 116(1): 277–284.

[17] Bougatef A, Hajji M, Balti R, Lassoued I, Triki-Ellouz Y, Nasri M. 2009. Antioxidant and free radical-scavenging activities of smooth hound (Mustelus) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases. *Food Chem.* 114: 1198–1205.

[18] Molyneux P. 2004. The use of stable free radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *J. Sci. Technol* 26: 211-219.

[19] Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200.

[20] Premanath R, Lakshmidevi N. 2010. Studies on anti-oxidant activity of Tinospora cordifolia (Miers.) leaves using in vitro models. *J. Am. Sci.* 6(10): 736-743.

[21] Demiray S, Pintado ME, Castro PML. 2009. Evaluation of phenolic profiles and antioxidant activities of Turkish medicinal plants: *Tilia argentea*, *Crataegi folium* leaves and *Polygonum bistorta* roots. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 54:312-317.

[22] Thippeswamy AHM, Shirodkar A, Koti BC, Sadiq AJ, Praveen DM, Viswanatha Swamy AHM, Patil M. 2011. Protective role of *Phyllantus niruri* extract in doxorubicin-induced myocardial toxicity in rats. *Indian J Pharmaco*. 43: 31-35.

[23] Suksamrarn A, Eiamong S, Plyachaturawat P, Charoenpiboosin J. 1994. Phenolic diarylheptanoids from *Curcuma xanthorrhiza*. *Phytochemistry.* 36: 1505-1508.

[24] Rudrappa T, Bais HP. 2008. Curcumin, a Known Phenolic from Curcuma longa, Attenuates the Virulence of *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 in Whole Plant and Animal Pathogenicity Models. *J. Agric. Food Chem.* 56(6): 1955-1962.

[25] Jayaprakasha GK, Jaganmohan Rao L, Sakariah KK. 2005. Antioxidant activities of curcumin, demethoxycurcumin and bisdemethoxycurcumin. *Food Chem.* 4: 720-724.

[26] Cikrikci S, Mozioglu E, Yilmaz H. 2008. Biological Activity of Curcuminoids Isolated from *Curcuma longa*. *Rec. Nat. Prod.* 2(1): 19-24.

[27] Fidock DA, Rosenthal PJ, Croft SL, Brun R, Nwaka S: 2004. Antimalarial drug discovery: efficacy models for compound screening. *Nat Rev Drug Discov* 3:509-520.

[28] Rasoanaivo P, Wright CW, Willcox ML, Gilbert B. 2011. Whole plant extracts versus single compounds for the treatment of malaria: synergy and positive interactions. *Malarial Journal* 10(Suppl 1):S4

[29] Bertani S, Houël E, Bourdy G, Stien D, Jullian V, Landau I, Deharo E. 2007. Quassia amara L. (Simaroubaceae) leaf tea: Effect of the growing stage and desiccation status on the antimalarial activity of a traditional preparation. *Journal of Ethnopharmacology* 111:40-42.

ISOLASI DAN IDENTIFIKASI GOLONGAN FLAVONOID DAUN DANDANG GENDIS (*Clinacanthus nutans*) BERPOTENSI SEBAGAI ANTIOKSIDAN

Dudi Tohir*), Syahbirin G*)., Akbar
***)Departemen Kimia Fakultas MIPA IPB**

ABSTRAK

Isolasi dan identifikasi golongan flavonoid dalam penelitian ini diawali dengan mengesktrak serbuk daun dandang gendis (*Clinacanthus nutans*) dengan pelarut etanol 70%. Teknik ekstraksi yang digunakan adalah maserasi. Ekstrak etanol tersebut dipekatkan serta dihitung rendemen, uji fitokimia, dan uji golongan flavonoid. Ekstrak etanol dihidrolisis dan dipartisi dengan etilasetat kemudian difraksinasi dengan kromatografi kolom melalui proses elusi gradien antara campuran metanol:kloroform. Fraksi teraktif pada uji antioksidan dianalisis keberadaan gugus fungsinya dengan spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared*). Dari etanol 70% menghasilkan rendemen 34.58%, uji fitokimia positif terhadap alkaloid, triterpenoid, dan flavonoid, uji golongan flavonoid positif terhadap flavon dan flavonol. Fraksi teraktif, yaitu fraksi 1 dengan nilai IC50 sebesar 48.42 mg/L, uji golongan flavonoid positif terhadap flavon dan flavonol, dan hasil analisis FTIR menunjukkan gugus fungsi O-H, C=O, C–O, C=C aromatik, dan C-H alifatik.

ABSTRACT

Isolation of flavonoid was carried out by extracting the leaves of Dandang Gendis (*Clinacanthus nutans*) with 70% ethanol. Maceration was used as a method of extraction. The extract then was concentrated and calculated for its yield, phytochemical test, and flavonoid group test. The extract were hydrolyzed and partitioned in ethyl acetate, then fractionated using column chromatography through gradient elusion process between a mixture of methanol:chloroform. Antioxidant test was conducted by FTIR (*Fourier Transform Infrared*) to analyze the functional groups present in the most active fractions. The 70% ethanol gave 34.58% yield. Phytochemical test was positive for alkaloids, triterpenoids, and flavonoids. Flavonoid group test was positive for flavon and flavonol. The most active fraction was fraction l with IC50 value of 48.42 mg/L, flavonoid group test was positive for flavon and flavonol, and FTIR analysis results showed the functional groups of O-H, C = O, C-O, aromatic C=C, and aliphatic C-H.

1 PENDAHULUAN

Penelitian mengenai daun dandang gendis belum banyak dilaporkan, dari beberapa literatur diketahui bahwa dandang gendis (*Clinacanthus nutans*) merupakan tanaman semak belukar yang sering dijadikan sebagai tanaman pagar dan dikenal oleh masyarakat sebagai obat kencing manis, susah buang air kecil, dan disentri. Ekstraksi pendahuluan daun dandang

gendis dengan berbagai pelarut menunjukkan bahwa ekstrak tersebut mengandung komponen dari golongan alkaloid, flavonoid, dan terpenoid [1]. Salah satu kandungan kimia pada ekstrak dandang gendis, yaitu flavonoid diketahui mampu berperan sebagai senyawa yang dapat menangkap molekul radikal bebas atau sebagai antioksidan alami [2].

Selain itu ekstrak etanol dari daun tanaman *Clinacanthus* lain dengan subspesies berbeda, yaitu *Clinacanthus siamensis* juga memiliki potensi sebagai antimalaria dan antimikroba serta didapatkan dua senyawa, yaitu *trans*-3-metilsulfonil-2- propenol dan *trans*-3-metilsulfinil-2-propenol [3]. Hal ini diperkuat pula melalui penelitian yang menunjukkan uji fitokimia fraksi aktif ekstrak daun dandang gendis positif terhadap beberapa senyawa salah satunya adalah golongan flavonoid [4]. Penelitian lain menyebutkan dalam daun dan batang dandang gendis dari hasil ekstraksi dengan menggunakan pelarut *n*-butanol di antaranya *C*-glikosil flavon, viteksin, isoviteksin, shaftosida, isomolupentin 7-O*ß*-glukopiranosida, dan orientin sedangkan dari penelitian lanjutan yang masih dilakukan oleh Teshima diperoleh 5 senyawa yang mengandung sulfur dengan rumus struktur diantaranya $C_{10}H_{18}O_8S$, $10H_{18}O_7S$, $C_{12}H_{21}NO_8S$,$C_{10}H_{18}O_8S$, dan $C_{10}H_{18}O_8S$ [5]. Berdasarkan fakta di atas maka salah satu fokus penelitian ini adalah untuk mengetahui toksisitas daun dandang gendis sebagai antioksidan.

Peranan antioksidan sangat penting dalam meredam efek radikal bebas yang berkaitan erat dengan terjadinya penyakit degeneratif seperti tekanan darah tinggi, jantung koroner, diabetes dan kanker yang didasari oleh proses biokimiawi dalam tubuh. Radikal bebas yang dihasilkan secara terus menerus selama proses metabolisme normal, dianggap sebagai penyebab terjadinya kerusakan fungsi sel-sel tubuh yang akhirnya menjadi pemicu timbulnya penyakit degeneratif. Reaksi radikal bebas secara umum dapat dihambat oleh antioksidan tertentu baik alami maupun sintetis. Sebahagian besar antioksidan alami berasal dari tanaman, antara lain berupa senyawaan asam fenolat, flavonoid, kuinon, dan tanin.

Aktivitas antioksidan dapat diukur dengan metode penangkapan radikal bebas DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil). Metode uji antioksidan dengan DPPH dipilih karena metode ini adalah metode sederhana untuk evaluasi aktivitas antioksidan dari senyawa bahan alam. Metode ini menggunakan DPPH sebagai model radikal bebas. Senyawa yang aktif sebagai antioksidan mereduksi radikal bebas DPPH menjadi difenil pikril hidrazin [2]. Reaksi reduksi DPPH ini teramati oleh adanya perubahan warna dari ungu menjadi kuning. Absorbans yang

dihasilkan oleh hasil reaksi reduksi ini diukur pada panjang gelombang 517 nm. Aktivitas antioksidan dinyatakan dengan nilai IC50, yaitu konsentrasi ekstrak yang dibutuhkan untuk menurunkan konsentrasi DPPH sebesar 50% [6].

2 METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah.daun dandang gendis yang berasal dari daerah Batuhulung Bogor Indonesia. Berat sampel segar yang digunakan adalah 171.45.g. Sampel dikeringanginkan dan dihaluskan sehingga diperoleh bubuk sampel kering. Bahan kimia yang digunakan adalah etanol 70%, ammonium hidroksida, asam sulfat, FeCl3 1%, anhidridaasetat, amilalkohol, serbuk Mg, HCl pekat, natrium asetat, natrium karbonat, timbal asetat. Untuk pengujian digunakan BHT, 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH), KBr, pereaksi Meyer, Wagner, Dragendorf, dan Liebermann Burchard.

Dalam penelitian ini alat-alat yang digunakan adalah kromatografi kolom, pelat KLT, penguap putar, spektrofotometer UV-Tampak Pharmaspec 1700 Shimadzu, dan spektrofotometer infra merah Perkin Elmer.

Metode Penentuan Kadar Air

Cawan porselin dikeringkan pada suhu 105 ºC selama 3 jam. Cawan porselin yang telah dikeringkan kemudian didinginkan dalam eksikator dan ditimbang bobot keringnya. Contoh daun dandang gendis sebanyak 3 g dimasukkan ke dalam cawan porselin dan dipanaskan di dalam oven bersuhu 105 ºC selama 3 jam. Setelah itu, cawan porselin didinginkan dalam eksikator dan ditimbang sampai bobotnya konstan.

Ekstraksi Flavonoid

Sampel direndam dalam etanol 70% selama 24 jam pada suhu kamar. Ekstrak yang diperoleh disaring dan ampasnya direndam kembali dengan etanol 70%. Hasil rendaman disaring untuk memisahkan filtrat dan residunya. Filtrat hasil ekstraksi dikumpulkan menjadi satu. Selanjutnya ekstrak tersebut diuji fitokimia, uji golongan flavonoid, dan dihitung rendemennya.

Uji Fitokimia

Metode Harborne (1987) dilakukan untuk menguji kandungan alkaloid., saponin, triterpenoid dan steroid, serta tanin dan flavonoid [7].

Isolasi Golongan Flavonoid

Ekstrak terbaik daun dandang gendis dipartisi dengan *n*-heksana. Setelah itu, fraksi diambil dan dihidrolisis dengan HCl 2 N pada suhu 100 ºC selama 60 menit. Kemudian dilakukan ekstraksi partisi dengan etilasetat. Fraksi etilasetat dikumpulkan dan dipekatkan dengan penguap putar. Ekstrak etilasetat difraksinasi menggunakan kromatografi kolom dengan elusi gradien. Analisis eluen terbaik dilakukan dengan menggunakan KLT. Plat KLT GF254 digunakan sebagai fase diam. Eluennya ialah berbagai macam pelarut yang berbeda kepolaran, yaitu CHCl3, metanol, etilasetat, dan eter. Noda pemisahan dideteksi di bawah lampu UV 254 nm. Pemisahan dengan kromatografi kolom dilakukan dengan menampung fraksi setiap 5 ml. Laju alir eluen yang dipakai ialah 0.2 ml/menit. Fraksi kemudian diperiksa menggunakan KLT GF254 dengan larutan pengembang yang sama. Fraksi yang memberi nilai Rf dan noda yang sama digabungkan dan dilakukan uji aktivitas antioksidan. Fraksi teraktif kemudian ditentukan golongan flavonoidnya menggunakan pereaksi golongan flavonoid dan KLT 2 arah. Identifikasi fraksi teraktif selanjutnya dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer FTIR.

Uji Antosianidin.

Sebanyak 1 ml ekstrak etilasetat ditambah 3 tetes lalu diamati, kemudian ditambah lagi 3 tetes $FeCl_3$ dan diamati lagi. Antosianidin dengan natrium asetat memberikan warna merah hingga ungu dan bila ditambah $FeCl_3$ menjadi warna biru. Antosianidin dengan CH_3COONa memberikan warna biru muda bila ditambah $FeCl_3$ menjadi warna tetap biru.

Sebanyak 1 ml ekstrak etilasetat ditambah 3 tetes Na_2CO_3 lalu diamati. Antosianidin memberikan warna ungu, biru, atau hijau.

Flavonoid lain.

Sebanyak 1 ml ekstrak etilasetat ditambah 3 tetes CH_3COOPb lalu diamati warnanya. Flavon memberikan warna jingga hingga krem, kalkon memberikan warna jingga tua, dan auron memberikan warna merah. Sebanyak 1 ml ekstrak etilasetat ditambah 3 tetes NaOH 0.1 N lalu diamati warnanya. Flavonol dan flavon memberikan warna kuning, sedangkan kalkon dan auron memberikan warna merah hingga ungu. Sebanyak 1 ml ekstrak etilasetat ditambah 3 tetes H_2SO_4 pekat lalu diamati warnanya. Flavonol dan flavon memberikan warna kuning, flavonol memberikan warna jingga hingga krem, dan kalkon memberikan warna krem hingga merah tua.

***Uji Aktivitas Antioksidan* [8]**

Ekstrak pekat dibuat dengan konsentrasi 10, 30, 50, dan 70 ppm. Masing-masing dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Sebanyak 4.5 mL ekstrak dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan 1.5 mL larutan DPPH 0.1mM dalam etanol, kemudian diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 30 menit, selanjutnya serapannya diukur pada panjang gelombang 515.4 nm dengan spektrofotometer UV-Tampak. BHT (Butil Hidroksi Toluena) dengan konsentrasi 2, 4, 6, dan 8 ppm digunakan sebagai kontrol positif. Nilai IC50 masing-masing dihitung dengan menggunakan rumus persamaan regresi.

Identifikasi Fraksi Aktif

Padatan fraksi teraktif dicampurkan dengan 200 mg KBr dan campuran tersebut kemudian dibuat pelet dan dilakukan analisis spektrum FTIR.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air

Contoh yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk daun dandang gendis. Penentuan kadar air berfungsi menyatakan kandungan zat dalam tumbuhan sebagai persen kering, mengetahui cara penyimpanan contoh yang baik, dan menghindari pengaruh aktivitas mikroba. Selain itu dengan mengetahui kadar air suatu contoh dapat diperkirakan jumlah contoh yang dibutuhkan jika akan mengekstrak contoh dalam keadaan basah. Sampel yang baik disimpan dalam jangka panjang adalah sampel yang memiliki kadar air kurang dari 10% [9]. Air yang terkandung dalam serbuk daun dandang gendis dihilangkan dengan pemanasan pada suhu 105 ^{o}C. Air yang terikat secara fisik dapat dihilangkan dengan pemanasan pada suhu 100-105 ^{o}C [10]. Kadar air rerata yang diperoleh dari serbuk daun dandang gendis kering sebesar 14.30%. Hal ini memperlihatkan bahwa kadar air yang terkandung lebih besar dari 10% sehingga waktu simpannya relatif singkat dan tidak dapat disimpan dalam keadaan sample basah. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hal ini di antaranya kelembaban udara, perlakuan terhadap bahan, waktu pengambilan bahan, dan besarnya penguapan.

Ekstraksi

Cara ekstraksi yang digunakan mengacu pada metode Suwandi [11]. Metode ini dilakukan dengan etanol 70% digunakan sebagai pelarut untuk ekstraksi mengacu pada sifat polar

etanol dalam mengekstrak senyawa flavonoid. Flavonoid yang tersebar pada tumbuhan umumnya bersifat polar. Proses ekstraksi dapat dihentikan apabila warna ampas serbuk daun pada ekstraksi ulangan tersebut sama sekali tidak berwarna hijau lagi, sehingga dapat dianggap semua senyawa berbobot molekul rendah telah terekstraksi [7].

Ekstrak kasar yang diperoleh dipekatkan dengan penguap putar dan dilakukan beberapa uji di antaranya penghitungan rendemen, uji fitokimia, dan uji golongan flavonoid. Nilai rendemen yang diperoleh sebesar 34.58% dari 171.45 g contoh kering yang digunakan. Penentuan rendemen berfungsi untuk mengetahui metabolit sekunder yang terbawa pelarut tersebut, namun komponen metabolit sekunder yang terkandung tidak dapat diketahui. Ekstrak kasar tersebut kemudian dilanjutkan ke tahap isolasi golongan flavonoid. Uji fitokimia dilakukan untuk menunjukkan kandungan metabolit sekunder yang terekstrak dari sampel secara kualitatif dan mengetahui efektivitas pelarut dalam mengekstrak senyawa flavonoid khususnya. Efektivitas pelarut dapat dilihat dari intensitas warna. Intensitas warna yang lebih pekat menunjukkan bahwa ekstrak tersebut mempunyai kadar metabolit sekunder yang lebih tinggi. Berdasarkan uji ini ekstrak etanol 70% menunjukkan positif terhadap flavonoid dengan intensitas warna jingga yang cukup pekat (Gambar 1).

Gambar 1 Uji kualitatif flavonoid.

Selain itu, kandungan metabolit sekunder lain seperti alkaloid dan triterpenoid yang dapat berperan sebagai pengganggu pada tahap isolasi flavonoid intensitas warnanya lebih rendah (Tabel 1).

Tabel 1 Uji fitokimia ekstrak etanol 70%

Uji fitokimia	**Ekstrak etanol 70%**
Alkaloid	+
Saponin	-
Flavonoid	+++
Triterpenoid	+
Steroid	-
Tanin	-

Keterangan: Tanda (+) menunjukkan tingkat intensitas warna

Uji golongan flavonoid (Tabel 2) dapat memberikan informasi tentang keberadaan jenis golongan flavonoid yang terdapat pada ekstrak kasar secara kualitatif. Eksrak tersebut menunjukkan positif terhadap senyawa golongan flavonoid, yaitu flavon dan flavonol. Ekstrak etanol saat ditambahkan pereaksi CH_3COOPb dan NaOH menghasilkan warna krem dan kuning.

Tabel 2 Uji golongan flavonoid ekstrak etanol 70%

Ekstrak	**Pereaksi**	**Warna akhir**	**Golongan Flavonoid**
Etanol 70%	CH_3COOPb	Krem (+)	Flavon
	NaOH 0.1 N	Kuning (+)	Flavonol dan flavon
	H_2SO_4 pekat	Coklat (+)	-
	CH_3COONa	Kuning (+)	-
	CH_3COONa + $FeCl_3$	Coklat (+)	-
	Na_2CO_3	Kuning (+)	-

Keterangan: Tanda (+) menunjukkan tingkat intensitas warna

Tahap isolasi dilakukan untuk mengambil senyawa golongan flavonoid dari ekstrak etanol serbuk daun dandang gendis. Golongan senyawa flavonoid diisolasi karena memiliki efektivitas sebagai senyawa antioksidan. Sifat antioksidan ini dapat terlihat dari efektivitas senyawa flavonoid dalam menangkap radikal bebas. Efektivitas senyawa tersebut sangat bergantung pada struktur kimia dan substitusi gugus-OH yang dimilikinya. Senyawa flavonoid dipisahkan dari ekstrak etanol 70% dengan cara ekstraksi cair-cair. Sebelum

dilakukan pemisahan terhadap senyawa flavonoid terlebih dahulu dilakukan penghilangan lemak yang mungkin saja ikut terekstrak dalam ekstrak etanol 70%, yaitu dengan partisi menggunakan *n*-heksana.

Ekstrak etanol 70% yang bebas lemak kemudian dihidrolisis menggunakan asam. Hidrolisis ini dilakukan untuk memecah ekstrak menjadi glikosida dan aglikonaglikon flavonoid. Aglikon flavonoid dipisahkan dari fraksi gulanya dengan partisi menggunakan etilasetat [12]. Ekstrak etilasetat kemudian dilakukan uji golongan flavonoid (Tabel 3) untuk memberikan informasi jenis senyawa flavonoid secara kualitatif pada ekstrak tersebut. Hasil uji menunjukkan warna krem dan kuning ketika ditambahkan pereaksi CH_3COOPb dan NaOH, sehingga dapat diketahui ekstrak tersebut positif terhadap flavon dan flavonol.

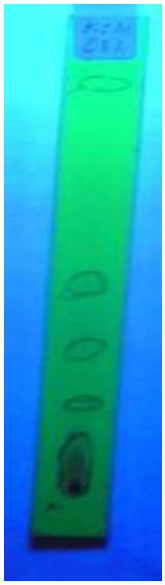
Tabel 3 Uji golongan flavonoid ekstrak etilasetat

Ekstrak	**Pereaksi**	**Warna akhir**	**Golongan Flavonoid**
Etilasetat	CH_3COOPb	Krem (+)	Flavon
	NaOH 0.1 N	Kuning (+)	Flavonol dan flavon
	H_2SO_4 pekat	Coklat (+)	-
	CH_3COONa	Kuning (+)	-
	CH_3COONa + $FeCl_3$	Coklat (+)	-
	Na_2CO_3	Kuning (+)	-

Keterangan: Tanda (+) menunjukkan tingkat intensitas warna

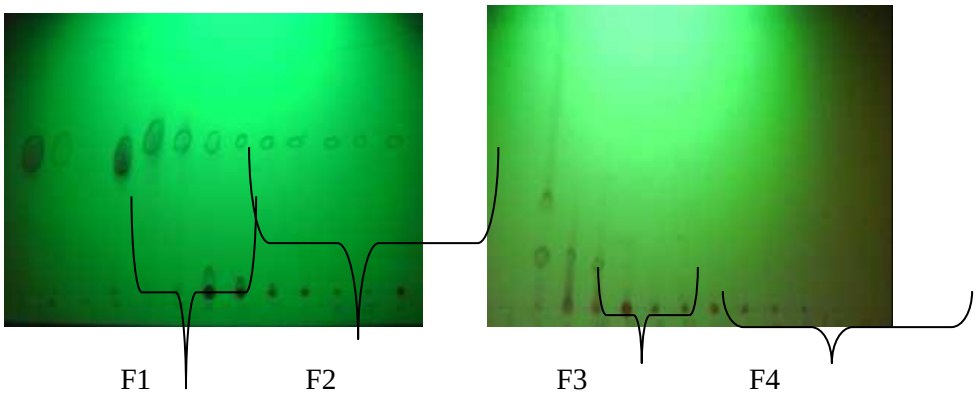
Pemisahan aglikon-aglikon flavonoid dari ekstrak etilasetat dilakukan dengan kromatografi kolom menggunakan proses elusi gradien, yaitu ekstrak di dalam kolom dielusi pertama kali dengan senyawa yang bersifat nonpolar lalu ditambahkan tingkat kepolarannya sampai dielusi dengan senyawa yang polar. Sebelum dilakukan pemisahan dengan kolom kromatografi terlebih dahulu dilakukan pencarian eluen terbaik dengan menggunakan berbagai jenis pelarut yang berbeda kepolarannya, yaitu $CHCl_3$, metanol, etilasetat, dan dietileter. Pengujian ekstrak etilasetat pada plat KLT GF254 menunjukkan pemisahan yang baik menggunakan eluen $CHCl_3$: metanol (9:1). Noda pemisahan dideteksi di bawah lampu

UV 254 nm. KLT menggunakan eluen $CHCl_3$: metanol (9:1) menunjukkan 4 noda di bawah sinar UV (Gambar 2).



Gambar 2 Kromatogram ekstrak etilasetat dengan eluen $CHCl_3$:methanol (9:1).

Ekstrak etilasetat sebanyak 0,5243 g dipisahkan menggunakan kolom kromatografi dengan silika gel kolom sebagai fase diam dan eluen sebagai fase geraknya. Fraksi yang diperoleh dari pemisahan ini berjumlah 364 fraksi. Fraksi-fraksi yang memiliki noda dan Rf yang sama digabungkan kemudian diuapkan hingga pekat dan ditimbang bobotnya. Fraksi (F) yang diperoleh dari nilai Rf dan noda yang sama berjumlah 4 fraksi (Gambar 3). Bobot keempat fraksi tersebut secara berurutan adalah 0.0281, 0.1389, 0.0479, dan 0.2084 g dengan nilai rendemen setiap fraksi secara berurutan sebesar 5.36, 26.49, 9.14, dan 39.75 %b/b dari 0.52 gram ekstrak etilasetat. Keempat fraksi ini diuji aktivitas antioksidannya untuk menentukan fraksi teraktif.



Gambar 3 Kromatogram hasil kromatografi kolom terhadap ekstrak etilasetat.

Aktivitas Antioksidan

Uji aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH menunjukan adanya aktivitas antioksidan pada ekstrak etilasetat dan keempat fraksi. Ektrak etilasetat mempunyai nilai IC50 sebesar 78.26 mg/L. Fraksi 1 (F1) memperlihatkan aktivitas antioksidan tertinggi dibandingkan fraksi lainnya dengan nilai IC50 yang dimilikinya sebesar 48,42 mg/L. Aktivitas antioksidan F1 lebih besar dibandingkan ekstrak etilasetat. Hal ini dikarenakan F1 dalam kondisi yang lebih murni oleh pemisahan dengan kromatografi kolom. Aktivitas antioksidan F1 lebih kuat dibandingkan dengan fraksi lain karena memiliki nilai IC50 kurang dari 200 mg/L [6]. Apabila dibandingkan dengan aktivitas antioksidan BHT yang memiliki nilai IC50 sebesar 11, 59 mg/L, aktivitas antioksidan F1 masih lebih rendah (Tabel 4).

Tabel 4 Aktivitas antioksidan

Jenis larutan uji	IC50 (mg/L)
BHT	11.59
Ekstrak etilasetat	78.26
F1	48.42
F2	90. 92
F3	59278.38
F4	1939.14

Golongan Flavonoid Fraksi Aktif

Uji kualitatif golongan flavonoid yang dilakukan terhadap F1 menunjukkan positif adanya golongan flavon dan flavonol (Tabel 5).

Tabel 5 Uji golongan flavonoid F1

Ekstrak	Pereaksi	Warna akhir	Golongan Flavonoid
F1	CH_3COOPb	Krem (+)	Flavon
	NaOH 0.1 N	Kuning (+)	Flavonol dan flavon
	H_2SO_4 pekat	Kuning Kecoklatan (+)	-
	CH_3COONa	Kuning (+)	-
	CH_3COONa + $FeCl_3$	Coklat (+)	-
	Na_2CO_3	Kuning (+)	-

Keterangan: Tanda (+) menunjukkan tingkat intensitas warna

Analisis Spektrum Inframerah

Analisis spektrum infra merah (Gambar 4) dengan metode pelet KBr pada F1 menunjukkan adanya beberapa gugus fungsi.Menurut Silverstein *et al*. (1986), pita-pita khas yang teramati dalam spektrum senyawaan fenol dihasilkan oleh vibrasi ulur O-H dan ulur C-O [13]. Vibrasi ulur O-H dari F1 terlihat pada pita melebar di daerah 3550-3200 cm-1 dengan puncak serapan 3408.52 cm-1. Vibrasi ini menunjukkan adanya gugus O-H yang membentuk ikatan hidrogen. Serapan pada bilangan gelombang 1167.05 cm-1 menunjukkan adanya gugus CO. Vibrasi ulur C-O dalam senyawaan fenol menghasilkan pita kuat di daerah 1260-1000 cm-1. Pita-pita khas yang menunjukkan adanya gugus C=O dihasilkan oleh vibrasi ulur C=O di daerah 1870-1540 cm-1. Spektrum infra merah F1 menunjukkan serapan pita ulur C=O pada 1715.72 cm-1. Serapan pada 1515.73 cm-1 menunjukkan C=C aromatik. Serapan pada bilangan gelombang 2927.36 cm-1 menunjukkan vibrasi ulur C-H di dalam gugus C-H alifatik. Berdasarkan hasil analisis FTIR, F1 memiliki gugus fungsi O-H, C=O, C=C aromatik, C-H alifatik, dan C-O.

4 KESIMPULAN

Rendemen ekstrak etanol 70% sebesar 34.59% dan uji golongan flavonoid positif terhadap flavon dan flavonol. F1 menunjukkan aktivitas antioksidan tertinggi dibandingkan fraksi yang lainnya dengan IC50 sebesar 48.42 mg/L dengan uji golongan flavonoid

menunjukkan positif terhadap flavon dan flavonol. Hasil spektrum inframerah F1 memperlihatkan bahwa senyawa tersebut mempunyai gugus fungsi OH, C=O, C–O,C=C aromatik, dan C-H alifatik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Suharty NS. 2004. Isolasi terpenoid dari daun *Clinachanthus nutans*.

[2] Amic D, Beslo D, Trinajstic N, Davidovic.2003. Structure-Radical Scavenging Activity Relationships of Flavonoids. *Croatia Chem Acta* 76(1): 55-61.

[3] Pittaya T, Vichai R, Tharworn J, Thawatchai S. 2003. Sulfur-containing Compounds From *Clinacanthus Siamensis* [Abstract]. *The Pharma. Soc. Of Japan* 51: 1423-1425.

[4] Sofyan D. 2008. Inhibisi Fraksi Aktif Daun Dandang Gendis (*Clinacanthus nutans*) Pada Pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* Sebagai Uji Potensi Antitumor [Skripsi]. Departemen Kimia, FMIPA, IPB, Bogor.

[5] Widjaja S. 1997. Antioksidan: Pertahanan Tubuh Terhadap Efek Oksidan dan Radikal Bebas. *Majalah Ilmu Fakultas Kedokteran USAKTI.* 16:1659-1672.

[6] Hanani E, Abdul M, Ryany S. 2005. Identifikasi Senyawa Antioksidan dalam Spons *Callyspongia sp* dari Kepulauan Seribu. *Majalah Ilmu Kefarmasian* 2:127- 133.

[7] Harborne JB.1987. *Metode Fitokimia*.Padmawinata K, Soediro I, penerjemah; Niksolihin S, editor. Bandung: Penerbit ITB. Terjemahan dari: *Phytochemical Methode*.

[8] Blois MS. 1958. Antioxidant Determinations By The Use of a Stable Free Radical. *Nature* 181: 1199-1200.

[9] Winarno FG. 1992. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: Gramedia.

[10] Harjadi W. 1993. *Ilmu Kimia Analitik Dasar*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

[11] Suwandi S. 2008. Isolasi Dan Identifikasi Golongan Flavonoid Daun Jati Belanda Berpotensi sebagai Antioksidan [skripsi]. Departemen kimia, FMIPA, IPB, Bogor.

[12] Markham KR. 1988. *Cara Mengidentifikasi Flavonoid*. Padmawinata K, penerjemah. Bandung: Penerbit ITB. Terjemahan dari: *Techniques of Flavonoid Identification.*

[13] Silverstein RM, Bassler GC, Morril TC. 1986.*Penyidikan Spektrometrik senyawaOrganik*. Hartomo AJ, penerjemah. Jakarta: Erlangga. Terjemahan dari: *Spektrometric Identification of Organic Compounds*.

SITOKSISITAS FRAKSI AKTIF BIJI MAHONI (*Swietenia mahagoni*) PADA SEL KANKER PAYUDARA T47D

Dudi Tohir D.*), Eka Wuyung, Rida Farida
*)Departemen Kimia Fakultas MIPA IPB

ABSTRAK

Fraksi etil asetat biji mahoni (*Swietenia mahagoni*) berdaun kecil telah dilaporkan memiliki toksisitas terhadap larva udang *Artemia salina* dan berpotensi sebagai obat. Penelitian ini bertujuan menguji sitotoksisitas fraksi aktif biji mahoni terhadap sel kanker payudara T47D. Fraksi etil asetat difraksinasi menggunakan kromatografi kolom klasik dengan fase diam silika gel dan fase gerak kloroform-etil asetat secara bergradien sehingga diperoleh 8 fraksi. Fraksi 2 dengan nilai konsentrasi letal 50 sebesar 74.30 ppm mampu menghambat pertumbuhan sel T47D dengan nilai konsentrasi inhibisi 50 sebesar 49.12 ppm. Berdasarkan hasil uji fitokimia dapat diketahui bahwa fraksi 2 mengandung senyawa alkaloid dan steroid/triterpenoid.

ABSTRACT

Ethyl asetate fraction was reported to be toxic to *Artemia salina* and has a potency as medicine. The purpose of this study was to examine cytotoxicity of active fraction from *Swietenia mahagoni* seed toward breast cancer T47D. Ethyl acetate fraction was fractionated used clasic cromatography coloum with silica gel as the stationary phase and chloroform-ethyl acetate as the mobile phase gradiently and yielded 8 fraction. Fraction 2 with 50 lethal concentration 74.30 ppm could inhibit the growth of T47D cell with 50 inhibition concentration of 49.12 ppm. Based on phytocemical assay, fraction 2 consisted of alkaloid and steroid/triterpenoid.

1 PENDAHULUAN

Kanker payudara merupakan kanker yang paling banyak ditemukan pada wanita setelah kanker leher rahim. Pada Tahun 2005 The American Cancer Society menyebutkan bahwa 3% kasus kematian wanita di Amerika Serikat disebabkan oleh kanker payudara. Sementara hasil perhitungan ekstrapolasi statistik didasarkan pada data penderita kanker payudara di Amerika, Kanada, dan Australia menunjukkan angka prevalensi penderita kanker payudara di Indonesia sebesar 876665 [1]. Tjidarbumi (1986) [2] menyebutkan bahwa penderita kanker payudara di Indonesia sebanyak 12.10%, terbanyak kedua setelah kanker leher rahim (19.18%). Kanker payudara ditandai dengan benjolan, perubahan ukuran, kulit yang kemerahan, keberadaan aleora (lingkaran hitam di sekitar puting susu), ruam, pengencangan atau pelonggaran payudara, dan rasa sakit di daerah payudara.

Beberapa faktor yang berperan memicu timbulnya kanker di antaranya ialah gen p53, gen BRCA1 dan gen BRCA2 [3, 4], hormon estrogen yang abnormal, onkogen (gen pemicu pembelahan sel secara berlebih), hilangnya gen supresor untuk tumor, dan keberadaan bahan karsinogen [5, 6]. Selain itu riwayat keluarga penderita kanker payudara, kehamilan pada usia lebih dari 35 tahun, menstruasi dini atau menopause yang terlambat, konsumsi lemak jenuh, dan penumpukan lemak berlebih (di paha dan pinggul) juga dapat meningkatkan risiko terkena kanker payudara.

Upaya pengobatan kanker secara konvensional baik berupa operasi, radioterapi, maupun kemoterapi membutuhkan biaya yang sangat besar dan menimbulkan efek samping bagi kesehatan. Oleh karena itu saat ini banyak dilakukan penelitian untuk mencari obat antikanker dari bahan alam yang diharapkan lebih efektif dan aman.

Swietenia mahagoni atau mahoni berdaun kecil merupakan tanaman tropis yang termasuk famili Meliaceae. Di Indonesia terdapat tiga spesies pohon mahoni, yaitu *S. macrophylla* (mahoni berdaun lebar), *S. mahagoni* (mahoni berdaun kecil), dan *Swietenia* sp. Berdasarkan klasifikasi tumbuhan mahoni berdaun kecil termasuk dalam divisi *Spermatophyta*, subdivisi *Angiospermae*, kelas *Dikotiledonae*, ordo *Rutales*, famili *Meliaceae*, subfamili *Swietenidae*, genus *Swietenia*, dan spesies: *Swietenia mahagoni* [7].

Biji mahoni biasanya dimanfaatkan untuk mengobati berbagai penyakit, di antaranya demam, susah tidur, tekanan darah tinggi, eksim, kencing manis, dan disentri, serta dapat menambah nafsu makan [8]. Selain itu biji mahoni juga berkhasiat sebagai obat malaria, anemia, dan diare.

Beberapa peneliti terdahulu membuktikan bahwa batang mahoni yang diekstraksi dengan etanol terbukti sebagai antimalaria *Plasmodium falciparum*, klon D6 dan W2 yang diuji secara *in vitro* [9]. Ekstrak heksan kulit batang mahoni mengandung triterpenoid dan menunjukkan nilai LC_{50} dengan uji BSLT (*brine shrimp lethality test*) sebesar 3.73 µg/ml, sehingga spesies ini sangat berpotensi sebagai obat [2000]. Penelitian lain membuktikan bahwa pada biji mahoni mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Escheria coli* dan bakteri *subtilis* [10]. Shahidur et al. [11] melaporkan bahwa ekstrak metanol biji *Swietenia mahagoni* mengandung dua jenis senyawa yang disebut limonoid, yaitu swietenolid dan 2-hidroksi-3-O-tigloilswietenolide dan memi-liki aktifitas sebagai antibakteri. Kandungan

senyawa kimia biji mahoni di antaranya flavonoid, saponin, alkaloid, steroid/triterpenoid, dan tanin [8]; [10]; [12]; [13]).

Penelitian terdahulu telah berhasil dilakukan isolasi senyawa bioaktif dari biji mahoni (*Swietenia mahagoni*) yang diduga berpotensi sebagai senyawa obat dengan nilai konsentrasi letal 50 (LC_{50}) sebesar 17,7 ppm [14]. Putri [13] melaporkan bahwa fraksi aktif biji mahoni dapat menghambat pertumbuhan *Sacharomyces cerevisiae* sebagai uji awal terhadap senyawa antikanker.

Beranjak dari penelitian sebelumnya maka penelitian ini bertujuan untuk menentukan sitotoksisitas dari fraksi biji mahoni pada sel kanker payudara T47D. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi bahwa senyawa bioaktif yang terkandung dalam biji mahoni berpotensi sebagai antikanker.

2 METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah biji mahoni yang diambil dari Kebun Raya Purwodadi, Jawa Timur dan telah diidentifikasi oleh UPT Balai Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Purwodadi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), lempeng kromatografi lapis tipis (KLT) F 254, silika G 60, larva udang *Artemia salina*, tween 80, air laut, media RPMI (*rosewell park memorial institute*) 1640, penisilin-sterptomisin (Gibco), FBS (*fetal bovin serum*), Cisplatin (Kalbe farma), MTT (3-[4,5-dimetiltiazol-2-il]-2,5-difeniltetrazolium bromida), dimetil sulfoksida (DMSO), dan sodium dodesil sulfat (SDS).

Alat-alat yang digunakan adalah alat-alat kaca, tabung *cryo* (Corning), sumuran (96 *well plate*), laminar (Airstream) ESCO Class II BSC, inkubator CO_2 (Memmert), mikroskop cahaya inverted (Zeiss) Axiovert 40 CFL, ELISA *reader* (thermo electron corporation) Mustikan Ascent, dan hemositometer (Assistant).

Ekstraksi dan Fraksinasi

Biji mahoni yang telah dikeringudarakan digiling kemudian sebanyak 120 g diekstraksi dengan Soxhlet menggunakan pelarut *n*-heksana selama 48 jam. Residu yang dihasilkan dimaserasi selama 24 jam dengan pelarut metanol dan 4 kali penggantian pelarut. Ekstrak yang diperoleh kemudian dipekatkan dengan menggunakan penguap putar. Ekstrak metanol

pekat dipartisi dengan menggunakan etil asetat:air (3:2). Ekstrak etil asetat yang diperoleh dipekatkan dengan penguap putar.

Ekstrak etil asetat pekat difraksinasi dengan menggunakan kromatografi kolom berisi silika G 60 dengan eluen kloroform dan etil asetat secara bergradien. Masing-masing fraksi ditampung dalam vial sampai volume 10 ml. Fraksi yang diperoleh di-KLT dengan eluen pengembang kloroform:etil asetat (7:3). Fraksi dengan nilai R_f yang sama digabung dan dikeringkan dengan penguap putar. Setiap fraksi diuji toksisitas terhadap larva udang *A. salina* untuk menentukan fraksi teraktif yang akan dilanjutkan uji sitotoksik terhadap sel T47D.

Uji Toksisitas terhadap Larva Udang

Telur udang ditetaskan dalam gelas piala 1 l berisi air laut dan dilengkapi dengan aerator. Setelah 24 jam, telur udang menetas menjadi larva udang. Sebanyak 20 mg dari masing-masing fraksi dilarutkan dalam air laut sampai volumenya 4 ml. Sampel yang tidak larut ditambahkan 10 µl tween 80 (batas penambahan tween 80 adalah 50µl tiap 10 ml) dan dari larutan ekstrak dipipet sebanyak 500, 50, dan 5 µl ke dalam vial tempat uji larva udang, lalu ditambahkan air laut sampai volume larutan dalam vial menjadi 2 ml sehingga konsentrasi ekstrak menjadi 1000, 100, dan 10 ppm. Masing-masing vial diberi 10 ekor larva udang. Blangko dibuat dengan menggunakan air laut yang telah mengandung 10 µl tween 80 dengan volume total 4 ml. Setelah 24 jam dihitung jumlah udang yang mati dan ditentukan nilai LC_{50}. Masing-masing ekstrak diuji dengan 3 kali ulangan dengan 1 blangko.

Uji Sitotoksik Fraksi Teraktif Terhadap Sel T47D

Sel T47D dalam medium RPMI diinokulasikan ke dalam sumuran dengan jumlah inokulan 100 µl (kepadatan 2.5×10^4 sel/sumuran). Sebanyak 100 µl fraksi aktif dengan konsentrasi 250, 100, 50, dan 20 µg/ml ditambahkan pada inokulan kemudian diinkubasi pada inkubator CO_2 5% pada suhu 37 ^oC selama 24 jam. Pada akhir inkubasi medium pada masing-masing sumuran dibuang dan dicuci dengan PBS kemudian ditambahkan 100 µl MTT 0.75% (dalam medium) lalu diinkubasi selama 4 jam dalam inkubator CO_2. Sel hidup akan bereaksi dengan MTT membentuk formazan yang berwarna biru. Formazan dilarutkan dalam larutan SDS lalu diinkubasi selama 18 jam pada suhu kamar dalam gelap. Serapan dibaca dengan ELISA

reader pada panjang gelombang 570 nm. Pengujian dilakukan secara triplo dengan 1 blangko media RPMI, 1 kontrol negatif sel T47D, dan 1 kontrol positif cisplatin.

Uji Saponin

Sebanyak 0.1 g sampel diekstrak dengan metanol, pelarut kemudian diuapkan sampai kering, lalu residu diekstrak dengan dietil eter tiga kali, dan fraksi yang larut dalam dietil eter dipisahkan. Sebanyak 5 ml akuades ditambahkan ke dalam sisa residu yang tidak larut dalam dietil eter dan dikocok. Adanya saponin ditunjukkan dengan terbentuknya busa dengan tinggi 2-3 cm.

Uji Steroid/Triterpenoid (Lieberman Burchard)

Fraksi yang larut dalam dietil eter dalam uji saponin ditambahkan anhidrida asam asetat dan H_2SO_4 pekat (reagen Lieberman Burchard) kemudian dikocok. Warna hijau kebiruan menunjukkan adanya kandungan steroid/triterpenoid.

Uji Alkaloid

Sebanyak 0.1 g sampel diekstrak dengan $CHCl_3$ kemudian ditambahkan 5 ml $CHCl_3$ dan 4 tetes NH_4OH pekat lalu dikocok. Setelah itu ditambahkan 5 ml H_2SO_4 4 N kemudian dikocok hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan asam (tidak berwarna) dipipet ke dalam plat tetes lalu ditambahkan reagen Meyers, Wagner, Dragendorf pada masing-masing lubang plat. Kandungan alkaloid ditunjukkan dengan adanya endapan putih pada reangen Meyers, coklat pada reagen Wagner, dan jingga pada reagen Dragendorf.

Uji Tanin

Sebanyak 0.1 g sampel dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan 10 ml air panas dan dikocok sampai dingin. Sebanyak 6 tetes filtrat dipipet ke dalam plat tetes lalu ditambahkan beberapa tetes $FeCl_3$ 1%. Warna kuning kehijauan menunjukkan adanya kandungan tanin.

Uji Flavonoid

Sebanyak 0.1 g sampel ditambah 10 ml air panas lalu dipanaskan lagi selama 5 menit dan disaring. Sebanyak 5 ml filtrat ditambahkan sedikit serbuk Mg dan 1 ml HCl pekat dan 1 ml amil alkohol kemudian dikocok. Adanya flavonoid ditunjukkan dengan terbentuknya warna merah/jingga/kuning pada lapisan amil alkohol.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstrak dan Fraksi

Secara umum, penelitian terdiri atas 4 tahap, yaitu ekstraksi, fraksinasi, uji BSLT, dan uji Sitotoksik. Ekstraksi dengan metode Soxhletasi menggunakan pelarut *n*-heksana bertujuan untuk menghilangkan kandungan lemak pada biji mahoni. Lemak perlu di hilangkan lebih dahulu agar tidak mengganggu analisis senyawa metabolit sekunder target. Setelah kandungan lemak hilang, dilakukan maserasi dengan metanol untuk menarik semua senyawa aktif yang terdapat dalam sampel. Ekstrak metanol dipekatkan dengan penguap putar pada suhu 40 ^{o}C. Diharapkan pada suhu tersebut senyawa metabolit sekunder tidak rusak. Tahap ekstraksi ini diperoleh ekstrak metanol pekat sebesar 20.73 g (16.92%).

Ekstrak metanol pekat dipartisi dengan etil asetat:air (3:2) untuk memisahkan senyawa polar dan semipolar. Senyawa polar terekstrak oleh air sedangkan senyawa semipolar terekstrak oleh etil asetat. Rendemen fraksi etil asetat yang diperoleh ialah 5.89 g (4.9%).

Untuk meningkatkan kemurnian senyawa yang terekstrak oleh etil asetat maka sebanyak 2,12 g fraksi etil asetat difraksinasi pada kolom dengan fase diam silika G 60 dan fase gerak kloroform dan etil asetat secara bergradien dengan peningkatan kepolaran. Dari sini diharapkan terjadi pemisahan senyawa berdasarkan perbedaan polaritasnya. Untuk mengetahui jumlah fraksi yang diperoleh, dilakukan uji kualitatif dengan KLT. Hasilnya memperlihatkan adanya 8 fraksi. Fraksi 1 bersifat cenderung nonpolar karena terbawa oleh $CHCl_3$, sedangkan fraksi 8 bersiat semipolar karena terbawa oleh etil asetat.

Toksisitas terhadap Larva Udang

Untuk menentukan fraksi aktif yang akan digunakan pada tahap uji sitotoksik maka dilakukan uji BSLT dengan *A. salina*. Uji BSLT merupakan metode yang cepat dan sederhana untuk

mengamati aktivitas farmakologi suatu senyawa [10]. Aktivitas suatu senyawa ini ditunjukkan sebagai nilai LC_{50}. Nilai LC_{50} dihitung dengan menggunakan analisis probit. Hasil uji BSLT (Tabel 1) dari fraksi 1 sampai fraksi 8 kecuali fraksi 6 menunjukkan bahwa semua fraksi merupakan fraksi yang aktif karena memiliki nilai LC_{50} kurang dari 1000 ppm [14]. Nilai LC_{50} fraksi 6 tidak ditentukan karena rendemen yang diperoleh sangat kecil sehingga tidak dapat diuji.

Tabel 1 Hasil uji BSLT fraksi-fraksi biji mahoni

Fraksi	Bobot (g)	LC_{50} (ppm)*
Etil asetat	5.8886	56.69
1	1.1722	227.23
2	0.2336	74.30
3	0.0253	42.26
4	0.1947	71.64
5	0.0291	90.44
6	0.0011	-
7	0.1394	226.00
8	0.0179	252.32

* (-): nilai LC_{50} tidak ditentukan.

Fraksi 3 merupakan fraksi yang paling aktif dengan nilai LC_{50} 42.26 ppm, tetapi karena rendemen sangat kecil maka dipilih fraksi 2 yang memiliki rendemen cukup banyak dan nilai LC_{50} 74.30 ppm untuk uji sitotoksik terhadap sel T47D.

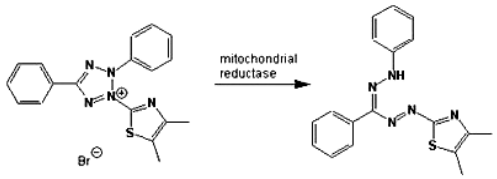
Sitotoksisitas Fraksi Aktif Terhadap sel T47D

Sel T47D merupakan kultur sel kanker yang diisolasi dari jaringan tumor duktal payudara seorang wanita berusia 54 tahun. Sel ini dikulturkan dalam media RPMI yang mengandung 0.1% penisilin-streptomisin sebagai antibakteri gram positif dan negatif agar terhindar dari kontaminasi. Selain itu juga mengandung FBS sebagai faktor pertumbuhan sel dan $NaHCO_3$ sebagai pengatur pH dalam inkubator CO_2 5% pada suhu 37 ^oC [17].

Sifat sitotoksik fraksi 2 dapat ditentukan dari kemampuannya membunuh dan menghambat pertumbuhan sel T47D. Kemampuan membunuh dan menghambat pertumbuhan ditentukan sebagai nilai persen penghambatan proliferasi (%PP). Nilai %PP ditentukan dari

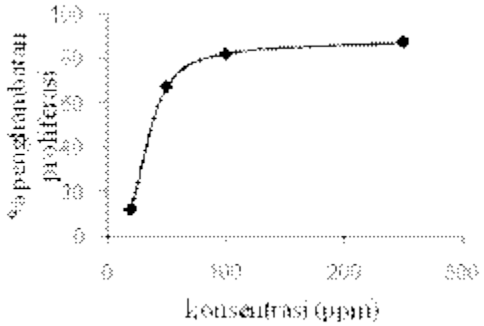
perbandingan persentase sel hidup terhadap kontrol negatif sel. Jumlah sel yang masih hidup dapat ditentukan dengan menggunakan reagen MTT.

Sel hidup memiliki enzim suksinat dehidrogenase yang diproduksi dalam mitokondria. Enzim ini akan mereduksi MTT yang merupakan garam tetrazolium berwarna kuning membentuk kristal formazan berwarna biru (Gambar 2). Warna biru formazan dapat diamati dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 570 nm sehingga jumlah sel hidup dapat dihitung. Nilai absorbans formazan sebanding dengan tingkat kehidupan sel dalam media kultur.



Gambar 2 Reaksi pembentukan formazan

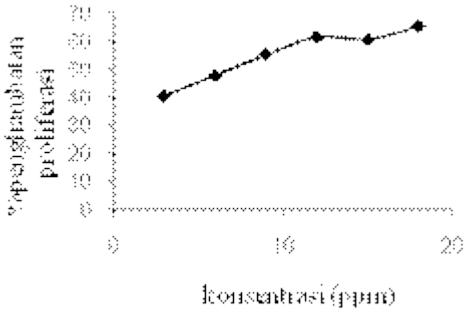
Efek penghambatan proliferasi fraksi 2 naik sejalan dengan peningkatan konsentrasi (Gambar 3). Namun, pada konsentrasi 250 ppm sudah tidak terjadi kenaikan yang signifikan. Dari profil penghambatan proliferasi diperoleh nilai IC_{50} dari fraksi 2 sebesar 49.12 ppm. Fraksi 2 berpotensi sebagai antikanker karena memiliki nilai IC_{50} kurang dari 50 ppm [15].



Gambar 3 Kurva pengaruh konsentrasi fraksi 2 terhadap persen penghambatan proliferasi

Dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian kontrol positif dari obat antikanker cisplatin. Cisplatin merupakan obat kemoterapi yang banyak digunakan untuk pengobatan kanker payudara, overium, serviks, karsinoma dan sarkoma ostogenik. Ciplatin adalah

senyawa turunan *cis*-diklorodiaminplatinum(2^+) [16]. Nilai %PP sel T47D oleh cisplatin cenderung berlangsung linier (Gambar 4). Cisplatin mampu menghambat pertumbuhan sel dengan nilai IC_{50} 6,08 ppm.



Gambar 4 Kurva pengaruh konsentrasi cisplatin terhadap persen penghambatan proliferasi

Mekanisme kerja antikanker dari cisplatin yaitu dengan membentuk tautan pada rangkaian DNA sehingga dapat mengganggu transkripsi dan translasi. Cisplatin melepaskan 2 ion Cl^- membentuk ion N-Pt^{2+} dihidrat kemudian mengikat atom N_7 dari nukleotida guanosin yang berdekatan pada rangkaian yang sama [16].

Uji Fitokimia

Uji fitokimia dilakukan untuk mengetahui kandungan senyawa metabolit sekunder dari fraksi etil asetat dan fraksi 2 hasil kolom (Tabel 2).

Tabel 2 Hasil uji fitokimia fraksi etil asetat dan fraksi 2

Uji fitokimia	Fraksi* etil asetat	Fraksi 2*
Saponin	-	-
Steroid/triterpenoid	+	+
Alkaloid	+	+
Tannin	-	-
Flavonoid	-	-

* (+): senyawa tersebut ada dalam fraksi

Fraksi etil asetat dan fraksi 2 menunjukkan hasil positif pada uji steroid/triterpenoid dengan terbentuknya warna hijau kebiruan. Keduanya juga menunjukkan hasil positif pada uji alkaloid, yaitu terbentuk endapan berwarna putih dengan reagen Meyers, cokelat dengan reagen Wagner, dan jingga dengan reagen Dragendorf. Sementara pada uji saponin, flavonoid, dan tanin menunjukkan hasil negatif. Hal ini menunjukkan bahwa kedua fraksi tersebut mengandung senyawa golongan alkaloid dan steroid/triterpenoid.

Efek farmakologi dari senyawa golongan alkaloid terhadap kanker telah dilaporkan, yaitu alkaloid vinkristin dan vinblastin dari tanaman *Vinca* yang menghentikan pembelahan sel pada tahap metafase sehingga sel kanker dapat dihambat pertumbuhannya [17]. Senyawa golongan triterpenoid dalam biji mahoni merupakan senyawa limonoid [11]. Efek farmakologi limonoid dalam buah jeruk mampu menghambat pertumbuhan sel kanker payudara dengan cara menginduksi kematian sel secara apoptosis (kematian sel terprogram) [3]. Limonoid dari *Azadicarta indica* juga mampu menghambat proliferasi sel koriokarsinoma manusia (BeWo) dengan cara menginduksi apoptosis [18].

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah dipaparkan dapat diambil kesimpulan bahwa fraksi 2 dengan nilai LC_{50} 74.30 ppm dan rendemen 0.2336 g, mampu menghambat pertumbuhan sel T47D dengan nilai IC_{50} sebesar 49.12 ppm. Fraksi 2 mengandung senyawa alkaloid dan steroid/triterpenoid.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kusminarto. 2006. Deteksi sangat dini kanker payudara. http://kompas.com/kompas-cetak/0604/17/ilpeng/25748.htm [21 Juni 2009].

[2] Tjidarbumi D. 1986. *Tumor Ganas pada Wanita*. Jakarta: Fakultas Kedokteran, Universitas Indonesia.

[3] Hahn DB, Payne WA. 2003. *Focus on Health*. New York: Mc-Graw Hill.

[4] Jerry DJ. 2007. Roles of estrogen and progesterone in breast cancer prevention. *Breast Canc Res* 9:102.

[5] Warren BS *et al*. 2002. Phytoestrogen and breast cancer. http://envirocancer.cornel. edu [22 Juni 2009].

[6] Lewis R. 2003. *Human Genetics: Concept and Aplication*. New York: McGraw-Hill.

[7] Heyne K. 1950. *Denuttige Planted van Indonesian.* Ed ke-3. Gravenhage: NV Uitgeverij van Noeves.

[8] Syamsuhidayat SS, Hutapea JR. 1991. *Inventaris Tanaman Obat di Indonesia*. Volume ke-1. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Depkes RI.

[9] MacKinon S, Durst T, Arnason JT. 1997. Antimalarial activity of tropical meliaceae extracts and gedunin derivatives. *J Natural Product* 60:336-341.

[10] Haryanti F. 2002. Isolasi senyawa antibakteri dari biji mahoni (*Swietenia mahagoni* Jacq.) [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

[11] Shahidur R, Azad C, Husne-Ara A, Sheikh ZR, Mohammad SA, Lutfun N, Satyajit DS. 2009. Antibacterial actifity of two limonoids from swietenia mahagoni against multiple-drug-resistant (MDR) bacterial strains. *J Nat Med* 63:41-45.

[12] Sianturi AHM. 2001. Isolasi dan fraksinasi senyawa bioaktif dari biji mahoni (*Swietenia mahagoni* Jacq.) [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

[13] Putri NE. 2004. Inhibisi fraksi aktif biji mahoni pada pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* sebagai uji antikanker. [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

[14] Meyer BN, Ferigni NR, Putnam JE, Jacobsen RE, Nicholas, McLaughin JL. 1982. Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituent. *Planta med* 45:31-34.

[15] Mans DRA, Adriana Bd'R, Schwartsmann G. 2000. Anticancer drugs discovery and development in Brazil: targeted plants collection as a rational strategy to acquire candidate anticancer compound. *The Oncologys* 5:185-98.

[16] Reedijk J, Lohman PHM. 1985. Cisplatin: Synthesis, antitumor activity, and mecanism of action. *Pharm Weekly* 7:173-80.

[17] Nogrady T. 1992. *Kimia Medisinal.* Rasyid R, Musadad A, penerjemah; Niksolihin SM, editor. Bandung: ITB Pr. Terjemahan dari: *Medicinal Chemistry.*

[18] Kumar V, Abbas AK, Fausato N. 2005. Cellular Adaptation, Cell Injury, and Cell Death. Di dalam: Robin, Kumar, editor. *Patologic Basis of Disease*. Ed ke-7. Philadelphia: WB Saunders.

OPTIMASI DAN EVALUASI MIKROKAPSUL IBUPROFEN TERSALUT POLIPADUAN POLIASAMLAKTAT−LILIN LEBAH

Tetty Kemala*), Ahmad Sjahriza, Randi Abdur Rohman
Departemen Kimia, FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
Tetty.kemala@yahoo.com

ABSTRAK

Mikroenkapsulasi merupakan suatu teknik untuk mengenkapulasi zat aktif menggunakan bahan penyalut disebut mikrokapsul. Mikroenkapsulasi obat dalam matriks polimer dapat mengendalikan pelepasan obat. Dalam penelitian ini, mikroenkapsulasi ibuprofen dilakukan dengan metode emulsifikasi dan teknik penguapan pelarut. Bahan penyalut yang digunakan adalah polipaduan poli(asam laktat) (PLA) dan lilin lebah karena bersifat biodegradabel dan biokompatibel. Gelatin digunakan sebagai pengemulsi. Mikroenkapsulasi dilakukan dengan ragam komposisi polipaduan PLA dan lilin lebah (6:4, 7:3, 8:2, dan 9:1) dan konsentrasi pengemulsi (1%, 1.5%, dan 2%). Efisiensi enkapsulasi ibuprofen menunjukkan nilai lebih dari 80% pada mikrokapsul dengan nisbah polipaduan PLA:lilin lebah 9:1. Pengaruh dari konsentrasi pengemulsi pada efisiensi enkapsulasi ibuprofen tidak signifikan. Persentase pelepasan ibuprofen berbanding lurus dengan efisiensi enkapsulasi. Kinetika pelepasan ibuprofen mengikuti model kinetika Korsmeyer-Peppas dengan mekanisme pelepasan obat berdasarkan *super case-II transport*. Mikrokapsul yang dihasilkan memiliki kisaran ukuran 30-180 μm dengan inti yang terdispersi secara homogen pada matriks polimer.

Kata kunci: Poli(asam laktat), Lilin lebah, mikroenkapsulasi, emulsifikasi

1 PENDAHULUAN

Ibuprofen merupakan senyawa aktif yang sering dijumpai dalam obat rematik komersial. Prinsip kerja ibuprofen adalah dengan menghambat kerja enzim prostaglandin sintetase. Namun, senyawa ini dapat menimbulkan iritasi pada lambung jika dikonsumsi dalam jumlah berlebih serta memiliki waktu paruh eliminasi yang cepat, yaitu sekitar 2 jam. Waktu paruh eliminasinya yang cepat menyebabkan obat ini harus lebih sering dikonsumsi [1]. Oleh karena itu, sistem pengantaran obat secara khusus diperlukan ibuprofen untuk mengatasi hal tersebut.

Mikroenkapsulasi merupakan suatu teknik untuk mengenkapulasi zat aktif menggunakan bahan penyalut disebut mikrokapsul [2]. Enkapsulasi obat dalam partikulat pembawa sebagai sistem pengantaran obat terkendali telah dipelajari secara ekstensif [3].

Sistem pengantaran obat seperti mikrokapsul menjadi lebih populer daripada sistem pengantaran obat oral umumnya. Distribusi obat yang seragam pada sistem pengantaran obat mengakibatkan penyerapan obat lebih efektif dan mengurangi resiko iritasi lokal. Tujuan sistem pengantaran obat adalah untuk menyediakan sejumlah obat ke organ atau jaringan yang tepat dalam tubuh dan menjaga konsentrasi obat yang diinginkan selama pengobatan. Tujuan ideal ini dapat dicapai dengan menargetkan obat ke organ atau jaringan tententu dengan cara mengendalikan kecepatan pelepasan obat [4].

Mikrokapsul pada dasarnya merupakan sebuah partikel dengan diameter 1-1000 μm [5]. Yoshizawa telah mengklasifikasi mikrokapsul menjadi tiga kelompok dasar menurut morfologinya, yaitu tipe berinti tunggal, berinti jamak dan tipe matriks (Gambar 1) [2]. Persebaran zat aktif dalam mikrokapsul dapat bermacam-macam baik yang berwujud padat, cair, maupun gas. Zat aktif dapat terletak di tengah-tengah kapsul dan bertindak sebagai inti (1a), atau tersebar di seluruh kapsul dan tidak terpusat di satu titik saja (1b).

(a) inti tunggal (b) inti jamak (c) matriks

Gambar 1 Klasifikasi mikrokapsul menurut morfologi

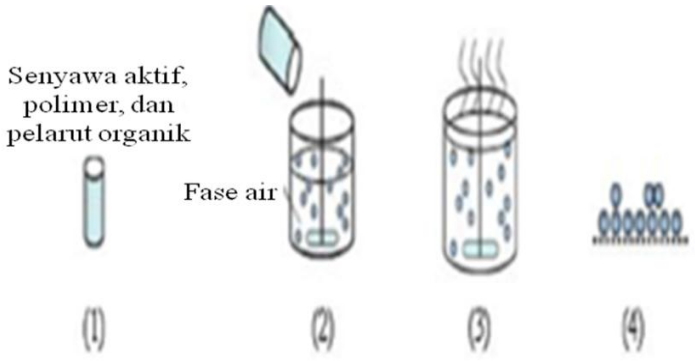
Mikroenkapsulasi obat dalam matriks polimer, dapat mengontrol pelepasan obat [8]. Penggunaan polimer biodegradabel sebagai matriks pada sistem pengantaran obat telah meningkat sejak dua dekade. Beberapa polimer biodegradabel yang dapat digunakan untuk tujuan ini adalah poli(asam laktat) (PLA) [7], poli(asam laktat-ko-glikolat) (PLGA) [9], campuran PLA dan poli(ε-kaprolakton) (PCL) [9], gelatin [3], campuran kitosan dan alginat [10], dan poli(ester amida) (PEA) [6].

PLA telah menjadi fokus perhatian karena diproduksi dari sumber daya terbarukan, biodegradabel, biokompatibel, dan tidak beracun [11]. PLA sendiri memiliki kerapuhan dan stabilitas termal yang rendah [12]. Sifat mekanik PLA dapat diperbaiki dengan melakukan kopolimerisasi dengan monomer lain, pencampuran (*blending*) dengan polimer lain, dan plastisisasi dengan pemlastis biokompatibel [13]. Beberapa penelitian telah melakukan

pencampuran PLA dengan polimer lain untuk memperbaiki sifat mekanik PLA, di antaranya dengan poli(asam aspartat-co-laktat) (PAL) [12] dan PCL [9].

Pemanfaatan lilin dan lemak telah dikembangkan sejak tahun 1938 oleh Lipowasky. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan lilin dan lemak dalam sistem pengantaran obat telah banyak dikembangkan [4]. Beberapa penelitian telah menggunakan lilin lebah sebagai matriks untuk mengenkapsulasi obat, seperti flurbiprofen [14] dan indometasin [4]. Penggunaan lilin lebah sebagai matriks pada sistem pengantaran obat memiliki beberapa keuntungan, di antaranya stabil pada beberapa nilai pH dan tingkat kelembaban, biokompatibel, tidak imunogenik, dan tidak *dose dumping* [14]. Pencampuran lilin lebah dan PLA diharapkan menghasilkan polimer kompatibel yang memiliki waktu degradasi dan permeabilitas yang lebih baik. Selain itu, pencampuran tersebut dapat mengurangi biaya yang dibutuhkan karena lilin lebah yang relatif lebih murah dibandingkan PLA.

Teknik penguapan pelarut telah banyak digunakan untuk mengenkapsulasi obat hidrofobik melalui proses emulsifikasi minyak dalam air (o/w) [15]. Tahapan mikroenkapsulasi ditunjukkan pada Gambar 2 [16]. Emulsi yang terbentuk antara larutan polipaduan dan obat dengan air tidak stabil, maka memerlukan pengemulsi untuk menstabilkannya. Gelatin telah banyak digunakan sebagai pengemulsi dalam pembuatan mikrokapsul [14]. Gugus hidrofil dari pengemulsi akan berikatan dengan molekul air sedangkan gugus lipofilnya akan berikatan dengan pelarut organik sehingga emulsi lebih stabil. Ragam dari konsentrasi pengemulsi dan komposisi polipaduan (PLA dengan lilin lebah) akan berpengaruh terhadap ukuran mikrokapsul yang dihasilkan dan banyaknya obat yang dienkapsulasi.



Gambar 2 Tahapan mikroenkapsulasi dengan menggunakan teknik penguapan pelarut

Penelitian ini bertujuan mensintesis PLA, membuat mikrokapsul dari polipaduan PLA-lilin lebah, menganalisis efisiensi enkapsulasi obat (ibuprofen) dari mikrokapsul yang dihasilkan, mempelajari pengaruh ragam komposisi polipaduan dan konsentrasi pengemulsi terhadap mikrokapsul yang dihasilkan, mempelajari model kinetika pelepasan obat (ibuprofen) berdasarkan koefisien determinasi (R^2) dari persamaan dengan menggunakan pendekatan orde reaksi ke-0, orde reaksi ke-1, dan Korsmeyer–Peppas, dan mempelajari morfologi dari mikrokapsul yang dihasilkan.

2 METODOLOGI

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah asam laktat, lilin lebah, gelatin (*bloom number* 200) dan ibuprofen. Alat-alat analisis yang digunakan adalah viskometer Ostwald, mikroskop, spektrofotometer UV-VIS, mikroskop elektron payaran (SEM), dan pengaduk magnetik.

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu pembuatan PLA, penentuan bobot molekul PLA, pembuatan mikrokapsul polipaduan (PLA dengan lilin lebah), pengukuran efisiensi enkapsulasi obat, uji disolusi mikrokapsul, dan karakteristik mikrokapsul yang dihasilkan dengan mikroskop dan SEM.

2.1 Sintesis Poli(asam laktat) [17]

Pembuatan poli(asam laktat) (PLA) dilakukan tanpa menggunakan katalis. Gelas piala 100 mL dibersihkan, dikeringkan, dan ditimbang bobotnya. Setelah itu, asam laktat sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam gelas piala dan ditimbang. Asam laktat kemudian dipanaskan secara perlahan-lahan sampai suhu 120 °C selama 1 jam. Pemanasan dilanjutkan dengan suhu 140-150 °C selama 24 jam. PLA yang dihasilkan didinginkan pada suhu ruang dan ditimbang.

2.2 Pengukuran Bobot Molekul PLA [18]

Pengukuran viskositas digunakan untuk menghitung bobot molekul rata-rata. PLA dilarutkan dalam etil asetat hingga diperoleh larutan PLA dengan konsentrasi 0.2%, 0.3%, 0.4%, dan 0.5%. Pengukuran viskositas dilakukan menggunakan viskometer Ostwald pada suhu 25 °C (suhu konstan) dengan cara menghitung waktu alir pelarut dan waktu alir larutan PLA pada berbagai konsentrasi. Setelah itu, viskositas relatif (η relatif) ditentukan dengan

cara membandingkan waktu alir pelarut dengan waktu alir larutan polimer (t_0/t). Viskositas intrinsik [η] dicari dengan cara memplotkan η spesifik/[PLA] sebagai sumbu y dan konsentrasi [PLA] sebagai sumbu x.

Bobot molekul (Mv) ditentukan berdasarkan persamaan Mark-Houwink: $[\eta] = k(Mv)^a$ *k* dan *a* merupakan tetapan yang bergantung pada pelarut, polimer, dan suhu. Pelarut dan suhu yang digunakan pada penelitian ini adalah etil asetat dan 25 °C. Nilai *k* dan *a* secara berturut-turut adalah 1.58×10^{-4} dan 0.78.

2.3 Pembuatan Mikrokapsul Ibuprofen Tersalut Paduan PLA dan Lilin Lebah

Larutan polipaduan PLA dan lilin lebah dibuat dengan melarutkan PLA dengan lilin lebah dalam diklorometana kemudian diaduk hingga homogen. Setelah itu, ibuprofen dicampurkan ke dalam larutan polipaduan PLA dan lilin lebah. Campuran tersebut kemudian didispersikan ke dalam air. Gelatin ditambahkan setelah emulsi terbentuk. Setelah itu, campuran didekantasi hingga mikrokapsul yang terbentuk mengendap. Mikrokapsul yang diperoleh kemudian disaring, dicuci dengan akuades, dikeringudarakan selama 1 hari.

Tabel 1 Komposisi Mikrokapsul Ibuprofen Tersalut Polipaduan PLA dan Lilin Lebah

Formula	Nisbah polipaduan (PLA:lilin lebah)	Konsentrasi gelatin (%)
AA	6:4	1
AB	7:3	1
AC	8:2	1
AD	9:1	1
BA	6:4	1.5
BB	7:3	1.5
BC	8:2	1.5
BD	9:1	1.5
CA	6:4	2
CB	7:3	2
CC	8:2	2
CD	9:1	2

2.4 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Pembuatan Kurva Standar

Larutan ibuprofen dalam bufer fosfat pH 7.2 dengan konsentrasi 10 ppm diukur absorbansnya pada panjang gelombang (λ) 210-240 nm menggunakan spekrofotometer ultraviolet (UV). Panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) yang diperoleh digunakan untuk analisis selanjutnya.

Kurva standar dibuat dengan mengukur absorbans larutan ibuprofen dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, dan 20 ppm pada panjang gelombang maksimum. Hasil yang diperoleh merupakan hubungan konsentrasi ibuprofen dengan absorbans.

2.5 Efisiensi Enkapsulasi

Sebanyak 25 mg mikrokapsul ditimbang dan dilarutkan ke dalam 50 mL bufer fosfat pH 7.2. Campuran tersebut dikocok selama 24 jam lalu disaring [19]. Kemudian filtrat diencerkan sebanyak 10 kali dan dibaca absorbansnya dengan spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum. Absorbans yang diperoleh digunakan untuk menentukan konsentrasi ibuprofen dengan bantuan kurva standar.

2.6 Uji Disolusi secara *In Vitro* [20]

Uji disolusi mikrokapsul dilakukan dengan alat disolusi tipe 2 (tipe dayung). Sebanyak 200 mg mikrokapsul ditimbang dan dimasukkan ke dalam *chamber* disolusi. Uji disolusi dilakukan dalam medium simulasi cairan usus (larutan bufer fosfat pH 7.2) selama 6 jam pada suhu (37 ± 0.5) °C dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Volume medium disolusi yang digunakan sebanyak 900 mL. Pengambilan alikuot dilakukan setiap 15 menit dengan volume setiap kali pengambilan 10 mL. Setiap kali pengambilan alikuot, volume medium yang terambil digantikan dengan larutan medium yang baru dengan volume dan suhu yang sama. Konsentrasi ibuprofen dalam larutan alikuot diukur menggunakan spektrofotometer UV pada λ_{maks}. Data yang diperoleh dibuat kurva hubungan antara persen pelepasan ibuprofen dan waktu disolusi, serta dikaji kinetika pelepasannya.

2.7 Morfologi Mikrokapsul dengan Mikroskop Elektron Payaran

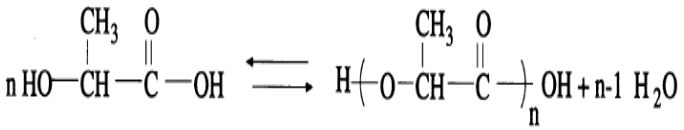
Pengamatan morfologi mikrokapsul dilakukan terhadap mikrokapsul kosong dan yang terisi ibuprofen dengan menggunakan mikroskop dan SEM.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sintesis Poli(asam laktat)

Sintesis poli(asam laktat) (PLA) pada penelitian ini dilakukan pada suhu 140-150 °C. Reaksi polimerisasi asam laktat dapat dilihat pada Gambar 3. PLA yang dihasilkan merupakan PLA dalam bentuk campuran rasemiknya (D,L-PLA) karena menurut Dutkiewicz

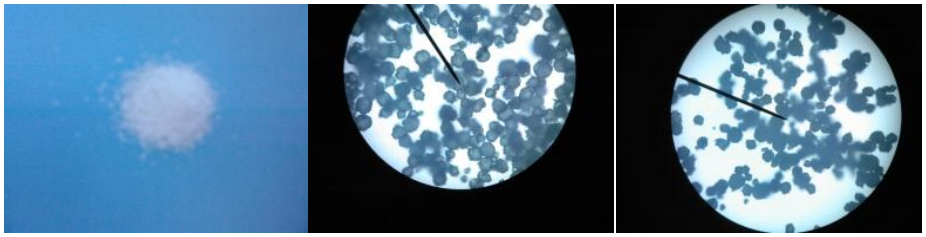
et al. sintesis PLA pada suhu lebih dari 140 °C akan menghasilkan PLA dalam bentuk rasemiknya [21]. Vroman dan Tighzert menyatakan bahwa L-PLA mempunyai bentuk semi-kristalin [12], sedangkan D,L-PLA berbentuk amorf. PLA dalam bentuk D,L-PLA memiliki waktu degradasi yang lebih cepat dibandingkan L-PLA [22]. Bobot molekul relatif (M_v) poli(asam laktat) (PLA) hasil sintesis yang ditentukan dengan viskometer Ostwald dengan pelarut etil asetat menghasilkan M_v sebesar 7736.56 g/mol dengan rendemen sebesar 42.66%. PLA dengan bobot molekul rendah (tidak lebih dari 10.000 g mol^{-1}) dapat dibuat melalui reaksi polikondensasi langsung [18].



Gambar 3 Reaksi sintesis PLA [18]

3.2 Mikrokapsul Ibuprofen

Mikrokapsul ibuprofen tersalut polipaduan PLA dan lilin lebah yang dihasilkan memiliki bentuk visual seperti serbuk, halus, kering, dan berwarna putih (Gambar 4a). Pencampuran dua atau lebih cairan menghasilkan campuran homogen, maka dapat dikatakan kompatibel [9]. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa campuran PLA dan lilin lebah adalah kompatibel.



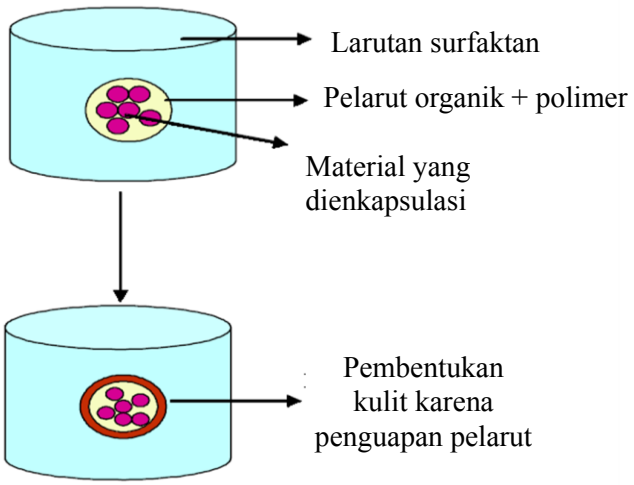
(a) (b) (c)

Gambar 4 Mikrokapsul ibuprofen tersalut polipaduan PLA-lilin lebah (a), foto mikroskop tanpa penambahan ibuprofen (b) dan dengan penambahan ibuprofen (c) pada perbesaran 100x

Bentuk mikrokapsul tanpa penambahan ibuprofen (Gambar 4b) tampak bulat dan lebih transparan. Sementara itu, mikrokapsul dengan penambahan ibuprofen (Gambar 4c) memperlihatkan bentuk yang bulat dan lebih gelap. Hal ini menunjukkan ibuprofen telah terkungkung dalam matriks polimer.

Mikroenkapsulasi ibuprofen dibuat menggunakan penyalut polipaduan PLA dan lilin lebah. Polipaduan merupakan campuran secara fisik antara dua atau lebih polimer yang berbeda atau kopolimer yang tidak terikat secara kovalen. Teknik paduan merupakan salah satu cara yang dapat meningkatkan sifat asli dari polimer [23].

Metode yang digunakan untuk membuat mikrokapsul pada penelitian ini yaitu metode emulsifikasi dengan teknik penguapan pelarut. Metode ini memiliki beberapa keuntungan yaitu dilakukan pada suhu ruang dan menghasilkan mikrokapsul yang memiliki mekanisme pelepasan material yang dikungkung secara optimal karena material yang dikungkung terdispersi secara homogen pada matriks polimer sehingga dianggap ideal untuk sistem pengantaran obat [24]. Proses pembentukan mikrokapsul dengan metode emulsifikasi dan teknik penguapan pelarut ditunjukkan pada Gambar 5. Metode emulsifikasi dengan teknik penguapan pelarut cocok untuk membuat mikrokapsul obat dari poliester biodegradabel seperti PLA [25].



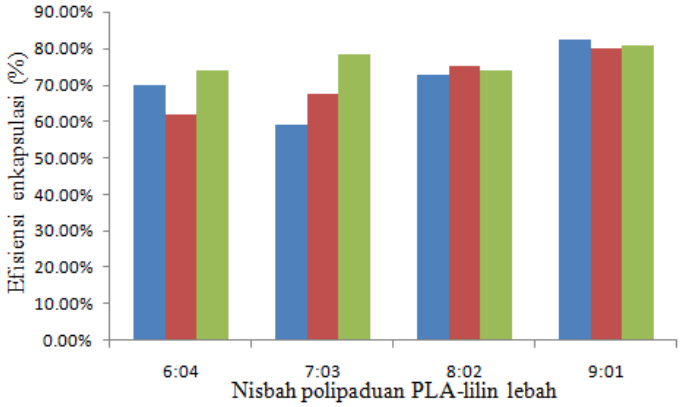
Gambar 5 Proses pembentukan mikrokapsul [25]

Proses pada penelitian ini dilakukan dengan melarutkan polimer dalam pelarut volatil yang tidak dapat campur dengan fase cair (O/W emulsi) [26]. Fase organik yang digunakan yaitu diklorometana. Selain diklorometana, dapat juga digunakan kloroform, tetapi membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menguap dibandingkan dengan diklorometana.

Kloroform menguap pada suhu 61 °C, sedangkan diklorometana menguap pada suhu 39 °C. Mikrokapsul akan lebih cepat terbentuk ketika menggunakan diklorometana [9]. Diklorometana lebih mudah larut dalam air dibandingkan kloroform. Kelarutan yang tinggi dalam air akan membuat transfer massa antara fase dispersi dan fase pendispersi relatif cepat sehingga pengendapan polimer lebih cepat [27].

3.3 Efisiensi Enkapsulasi

Hasil penentuan efisiensi enkapsulasi mikrokapsul ibuprofen tersalut polipaduan PLA dan lilin lebah (Gambar 6) menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan efisiensi enkapsulasi dengan meningkatnya nisbah PLA pada polipaduan PLA-lilin lebah. Efisiensi enkapsulasi berkisar pada 59.22-82.25%.



Gambar 6 Efisiensi enkapsulasi mikrokapsul ibuprofen dengan konsentrasgelatin =1%; = 1.5%; = 2%.

Efisiensi enkapsulasi merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menentukan keberhasilan proses enkapsulasi. Parameter ini menunjukkan berapa persen senyawa aktif (ibuprofen) yang berhasil disalut dalam mikrokapsul.

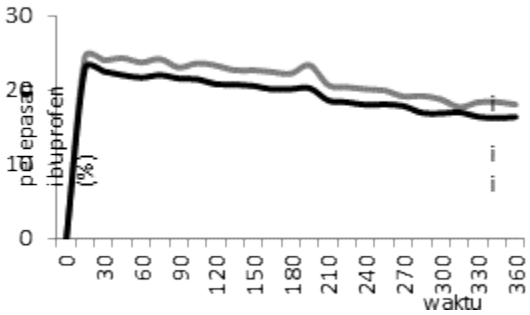
Hasil penentuan efisiensi enkapsulasi mikrokapsul ibuprofen tersalut polipaduan PLA dan lilin lebah menunjukkan nilai tertinggi pada mikrokapsul formula AD, yaitu sebesar 82.25%. Efisiensi enkapsulasi mikrokapsul meningkat dengan meningkatnya nisbah PLA. Nisbah PLA-lilin lebah yang memberikan nilai efisiensi enkapsulasi ibuprofen lebih dari 80% yaitu 9:1.

Nisbah PLA yang lebih banyak pada polipaduan menyebabkan kandungan senyawa dengan bobot molekul tinggi lebih banyak sehingga akan lebih mudah untuk mengungkung obat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kim *et al.* yaitu efisiensi mikrokapsul berbeda pada penggunaan bobot molekul polimer berbeda, semakin tinggi bobot molekul polimer maka semakin tinggi efisiensi yang dihasilkan [23].

Pengaruh dari konsentrasi pengemulsi pada efisiensi enkapsulasi ibuprofen tidak signifikan. Hal ini terlihat dari nilai efisiensi enkapsulasi yang diperoleh dengan nisbah polipaduan PLA-lilin lebah (9:1). Dengan demikian kisaran konsentrasi gelatin 1-2% dapat menghasilkan mikrokapsul dengan efisiensi enkapsulasi ibuprofen lebih dari 80%.

3.4 Pelepasan Obat

Hasil uji disolusi mikrokapsul ibuprofen tersalut polipaduan PLA-lilin lebah secara *in vitro* dalam medium stimulasi cairan usus (larutan bufer fosfat pH 7.2) ditunjukkan pada Gambar 7. Pelepasan ibuprofen dari mikrokapsul formula AD dan BD berturut-turut adalah 24.46 dan 22.95% pada menit ke-15. Selanjutnya terjadi penurunan tidak signifikan hingga menit ke-360.



Gambar 7 Pelepasan ibuprofen dari mikrokapsul formula AD (i) dan BD (ii) terhadap waktu (menit).

Disolusi adalah proses masuknya zat padat ke dalam larutan. Secara sederhana, disolusi merupakan proses zat padat melarut yang dikendalikan oleh afinitas antara zat padat dengan pelarut [9]. Mikrokapsul yang di uji disolusi adalah mikrokapsul formula AD dan BD yang memiliki efisiensi enkapsulasi lebih dari 80%.

Profil disolusi untuk mikrokapsul formula AD dan BD menunjukkan adanya *initial burst release* pada menit ke-15. Yeo dan Park menyatakan bahwa *initial burst release* dapat

disebabkan karena adanya obat yang tersalut pada permukaan mikrokapsul [28]. Penyalutan ibuprofen pada permukaan mikrokapsul memungkinkan ibuprofen untuk lebih mudah terlepas sehingga mengakibatkan terjadinya *initial burst release*.

Initial burst release yang terjadi pada mikrokapsul formula AD (24.46%) lebih besar persentasenya dibandingkan mikrokapsul formula BD (22.95%) karena mikrokapsul formula AD memiliki kandungan ibuprofen lebih banyak dari mikrokapsul formula BD sehingga mengakibatkan persentase pelepasannya menjadi lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan Dinarvard *et al.* menyatakan bahwa nilai efisiensi enkapsulasi lebih tinggi akan menyebabkan obat tersalut pada permukaan mikrokapsul lebih banyak sehingga *initial burst release* lebih besar [28].

3.5 Kinetika Pelepasan Obat

Hasil pendekatan kinetika terhadap pelepasan mikrokapsul formula AD dan BD menunjukkan bahwa model kinetika Korsmeyer-Peppas memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih tinggi dibandingkan orde ke-0 dan ke-1. Nilai *n* yang didapatkan untuk formula AD dan BD berturut-turut adalah 0.9845 dan 0.9831 (Tabel 2). Pendekatan kinetika terhadap pelepasan ibuprofen dikaji menggunakan data uji disolusi mikrokapsul formula AD dan BD.

Tabel 2 Parameter Pelepasan Ibuprofen dari Mikrokapsul

Formula	Orde ke-0		Orde ke-1		Korsmeyer–Peppas	
	R^2	k	R^2	k	R^2	n
AD	0.9284	0.0210	0.9299	$6.1124.10^{-5}$	0.9990	0.9845
BD	0.9741	0.0204	0.9748	$5.7814.10^{-5}$	0.9989	0.9831

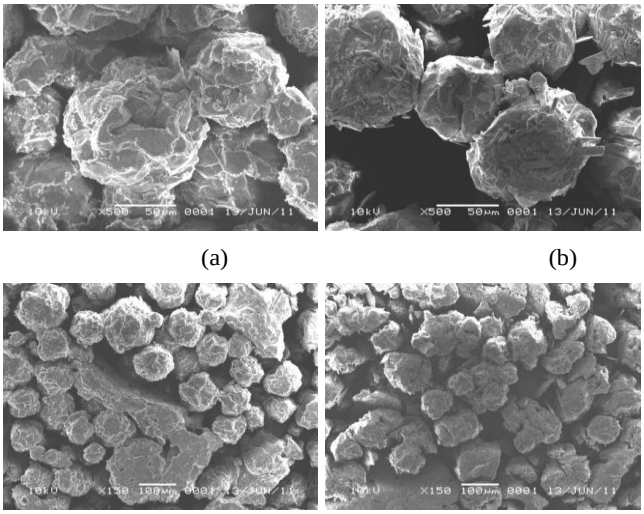
Kinetika pelepasan obat dapat menggambarkan laju pelepasan obat dan model pelepasannya. Model kinetika pelepasan ibuprofen ditentukan dengan melihat nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi yang diperoleh melalui pendekatan kinetika persamaan orde ke-0, orde ke-1, dan Koersmeyer-Peppas. Pendekatan kinetika terhadap pelepasan ibuprofen dikaji menggunakan data uji disolusi mikrokapsul formula AD dan BD.

Kinetika pelepasan ibuprofen untuk formula AD dan BD mengikuti model kinetika Korsmeyer-Peppas, karena memiliki nilai R^2 yang lebih tinggi dibandingkan model kinetika lainnya, yaitu 0.9990 dan 0.9989. Nilai *n* pada model Korsmeyer-Peppas digunakan untuk

menentukan karakter mekanisme pelepasan obat. Nilai *n* yang diperoleh dari mikrokapsul AD dan BD lebih besar dari 0.89. Hal ini menunjukkan karakter mekanisme pelepasan obat berdasarkan *super case-II transport*. *Super case-II transport* terjadi karena penguraian dan erosi polimer [29].

3.6 Morfologi Mikrokapsul dengan Mikroskop Elektron Payaran

Hasil analisis mikrokapsul ibuprofen tersalut polipaduan PLA-lilin lebah menggunakan mikroskop elektron payaran (SEM) menunjukkan bahwa mikrokapsul tanpa penambahan ibuprofen (Gambar 8a) dan dengan penambahan ibuprofen (Gambar 8b) mempunyai permukaan yang tidak halus. Mikrokapsul dengan penambahan ibuprofen (Gambar 8b) yang memiliki tonjolan berbentuk tidak beraturan yang tersebar pada permukaannya. Ukuran mikrokapsul yang dihasilkan berkisar 30-180 μm (Gambar 8c dan 8d).



Gambar 8 Foto SEM mikrokapsul tanpa penambahan ibuprofen pada pembesaran 500x (a) dan 150x (c) dan dengan penambahan ibuprofen pada perbesaran 500x (b) dan 150x (d).

Analisi terhadap permukaan mikrokapsul dilakukan dengan mikroskop elektron payaran (SEM). Permukaan mikrokapsul tanpa penambahan ibuprofen dan dengan penambahan ibuprofen tampak tidak halus. Hal ini dapat disebabkan karena proses pencucian

mikrokapsul yang tidak sempurna sehingga masih terdapat gelatin pada permukaan mikrokapsul.

Permukaan mikrokapsul dengan penambahan ibuprofen memiliki banyak tonjolan tidak beraturan yang diduga karena hasil penyalutan ibuprofen yang tersebar pada permukaan mikrokapsul. Hal ini sesuai dengan Obeidat yang menyatakan bahwa pembuatan mikrokapsul dengan metode emulsifikasi dan teknik penguapan pelarut akan menghasilkan material yang dikungkung terdispersi secara homogen pada matriks polimer [24].

Ukuran mikrokapsul yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 30-180 μm. Jain menyatakan bahwa ukuran mikrokapsul yang baik tidak lebih besar dari 250 μm [30]. Obeidat juga menyatakan bahwa umumnya ukuran produk mikroenkapsulasi (mikropartikel) berkisar antara 1-1000 μm, sedangkan mikropartikel komersial berkisar antara 3-800 μm [24].

4 SIMPULAN DAN SARAN

Mikroenkapsulasi ibuprofen dengan penyalut polipaduan poli(asam laktat) (PLA) dan lilin lebah menghasilkan mikrokapsul dengan bentuk visual seperti serbuk, halus, kering, dan berwarna putih. Kenaikan nisbah PLA meningkatkan efisiensi enkapsulasi ibuprofen. Efisiensi enkapsulasi dengan nisbah PLA-lilin lebah 9:1 menunjukkan nilai lebih dari 80%. Pengaruh konsentrasi pengemulsi pada efisiensi enkapsulasi tidak signifikan. Hasil uji disolusi mikrokapsul dalam medium simulasi cairan usus menunjukkan bahwa mikrokapsul dengan efisiensi enkapsulasi lebih tinggi mengalami pelepasan ibuprofen yang lebih besar. Kinetika pelepasan ibuprofen mengikuti model kinetika Korsmeyer-Peppas dengan mekanisme pelepasan berdasarkan *super case-II transport*. Hasil morfologi mikrokapsul dengan penambahan ibuprofen menunjukkan bahwa ibuprofen tersebar pada matriks polimer.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai optimasi pelarut yang digunakan pada saat pencucian mikrokapsul dan dilihat pengaruhnya terhadap morfologi mikrokapsul

DAFTAR PUSTAKA

[1] Gilman AG, Hardman JG, Limbird LE. 1996. *Goodman & Gilmans The Pharmacological Basic's of Therapeutics.* Ed ke-9. New York: McGraw Hill.

[2] Yoshizawa H. 2004. Trends in microencapsulation reseach. *KONA* 22:23-31.

[3] 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.

[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] Birnbaum DT, Brannon Peppas. 2004. Microparticle drug delivery systems. Di dalam: Drug Delivery System in Cancer Therapy. *Totowa*: Humana Pr.

[6] Manjunatha M, Jagadish RL, Gowda DV, Khan MS. 2010. Preparation, evaluation and bioavailability studies of indomethacin loaded PEA polymeric microspheres for controlled drug delivery. *Der Pharmacia Sinica* 1(2):141-155.

[7] Jie W, Qiang Z. 2001. Uptake of cyclosporine a loaded colloidal drug carriers by mouse peritoneal macrophages in vitro. *Acta. Pharmacol Sin.* 22(1):57-61.

[8] Da Silva AR, Zaniquelli MED, Baratti MO, Jorge RA. 2010. Drug release from microspheres and nanospheres of poly(lactide-co-glycolide) without sphere separation from the release medium. *J. Braz. Chem. Soc.* 21(2):214-225.

[9] Kemala T. 2010. Mikrosfer polipaduan poli(asam laktat) dengan poli(ε-kaprolakton) sebagai pelepasan terkendali ibuprofen secara *in vitro*[disertasi]. Jakarta: Program Pascasarjana, Universitas Indonesia.

[10] Silva CM, Ribeiro AJ, Figueiredo M, Ferreira D, Veiga F. 2006. Microencapsulation of hemoglobin in chitosan-coated alginate microspheres prepared by emulsification/internal gelation. *The AAPS Journal* 7(4):903-913.

[11] Yu L, Dean K, Li L. 2006. Polymer blends and composites from renewable resources. *Elvisier* 31:576-602.

[12] Vroman I dan Tighzert L. 2009. Biodegradable polymers. *Materials* 2:307-344.

[13] Hu Y, Rogunova M, Topolkaraev V, Hiltner A, Baer E. 2003. Aging of poly(lactide)/poly(ethylene glycol) blends: part 1. poly(lactide) with low stereoregularity. *Elsevier* 44: 5701–5710.

[14] 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.

[15] Park JH, Ye M, Park K. 2005. Biodegradable polymers for microencapsulation of drugs. *Molecules* 10:146-161.

[16] Chaudhari RP, Parmar HG, Patel HJ, Shah DA. 2010. Microparticle system: a revolution in drug delivery. *IJPI's Journal of pharmaceutics and Cosmetology* 1(1): 1-18.

[17] Gonzales MF, Ruseckaite RA, Cuadrado TR. 1999. Structural changes of polylactic-acid (PLA) microspheres under hydrolytic degradation. *Journal of Applied Polymer Science*. 71: 1223–1230.

[18] Kaitian X, Kozluca A, Denkbas EB, Piskin E. 1996. Poly(D,L-lacticacid) homopolimers: Synthesis and characterisation. *Tr. J. of Chemistry* 20:43-53.

[19] Tayade PT, Kale RD. 2004. Encapsulation of water-insoluble drug by a cross-linking technique: effect of process and formulation variables on encapsulation efficiency, particle size, and *in vitro* dissolution rate. *AAPS Pharm Sci* 6:1-8.

[20] [Depkes RI] Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 2001. *Petunjuk Operasional Penerapan CPOB*. Ed ke-2. Jakarta: Departemen Kesehatan RI.

[21] Dutkiewicz S, Lapienis DG, Tomaszewski W. 2003. Synthesis of poly(L(+)lactic acid) by polycondensation method in solution. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 11 (4):66-70.

[22] Lu Y, Chen SC. 2004. Micro and nano-fabrication of biodegradable polymers for drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews* 56:1621–1633.

[23] Kim BK, Hwang SJ, Park JB, Park HJ. 2003. Characteristics of felodipinelocated poli(e-caprolactone) microspheres. *J. Microencapsulation* 22: 193–203.

[24] 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.

[25] Dubey R, Shami TC, Rao KUB. 2009. Microencapsulation technology and application. *Defence Science Journal* 29(1):82-95.

[26] Venkatesan P, Manavalan R, Valliappan K. 2009. Microencapsulation: a vital technique in novel drug delivery system. *J. Pharm. Sci. and Res.* 1(4):26-35.

[27] Yeo Y, Park K. 2004. Control of encapsulation efficiency and initial burst in polymeric microparticle system. *Arch. Pharm. Res.* 27(1):1-12.

[28] Dinarvard R, Moghadam SH, Fard LM, Atyabi F. 2003. Preparation of biodegradable microspheres and matrix devices containing naltrexone. *AAPS Pharm. Sci. Tech.* 4(3):1-10.

[29] Singhvi G, Singh M. 2011. Review: in-vitro drug release characterization models. *International Journal of Pharmaceutical Studies and Research* 2(1):77-84.

[30] Jain RA. 2000. The manufacturing technique of various drug loaded biodegradable poly(lactide-co-glicolide) (PLGA) devices. *Biomaterial* 21:2475-2490.

PEMANFAATAN KONSORSIUM MIKROBA DARI KOTORAN SAPI DAN KUDA PADA PROSES BIODEGRADASI LIMBAH MINYAK BERAT (LMB)

Charlena*), Muhamad Yani, Eka NW
Departemen Kimia, FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
karlena_22@yahoo.co.id

ABSTRAK

Limbah minyak bumi berasal dari kegiatan industri perminyakan yang terbuang atau tumpah ke lingkungan menyebabkan terjadi pencemaran lingkungan. Bioremediasi merupakan salah satu metode yang dapat memulihkan lingkungan tercemar. Mikroba yang digunakan untuk mendegradasi limbah minyak berat (LMB) berasal dari kotoran sapi dan kuda. Parameter yang diamati adalah TPH padat, TPH cair, TPC, KOK, dan pH. Persen degradasi terbesar didapatkan dari penambahan LMB 5 %. LMB 5 % (b/v) yang ditambahkan akan memudahkan mikroba dalam mendegradasinya dibandingkan dengan LMB 10 %. Hal ini karena toksisitas yang rendah pada LMB 5 %. Konsorsium kotoran sapi dengan penambahan LMB 5 % pada hari ke-21 mencapai 40.36 % degradasi TPH, sedangkan konsorsium kotoran kuda mencapai 22.77 % degradasi TPH. Konsorsium kotoran sapi dengan penambahan LMB 10 % pada hari ke-21 mencapai 18.50 % degradasi TPH, sedangkan konsorsium kotoran kuda mencapai 16.80 % degradasi TPH. Hal ini juga menunjukkan bahwa mikroba pada konsorsium kotoran sapi lebih baik dalam mendegradasi LMB dibandingkan dengan mikroba pada konsorsium kotoran kuda.

Kata kunci: Konsorsium mikroba, kotoran hewan, limbah minyak berat

1 PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan salah satu sumber daya alam penting di Indonesia. Minyak bumi memiliki bermacam manfaat bagi kehidupan manusia, akan tetapi bila tumpah atau terbuang ke lingkungan, minyak bumi tersebut akan menjadi pencemar yang berbahaya. Selama kegiatan industri perminyakan umumnya terjadi tumpahan maupun ceceran minyak bumi dan produk-produknya, sehingga menyebabkan terjadinya pencemaran. Meningkatnya frekuensi pencemaran akan mengancam kebersihan lingkungan baik di daratan maupun di perairan. Lingkungan darat yaitu tanah merupakan salah satu komponen utama bagi pertumbuhan tanaman yang sangat dibutuhkan oleh manusia dan hewan. Kondisi tanah yang subur dan bebas pencemar sangatlah diperlukan. Adanya kontaminasi senyawa organik maupun senyawa kimia lainnya yang sulit didegradasi dan bersifat toksik di tanah menjadi pengganggu pertumbuhan tanaman dan organisme lain yang hidup di dalamnya. Dengan kata

lain pencemaran pada lingkungan akan mengurangi kualitas dan daya dukung lingkungan terhadap makhluk hidup.

Salah satu kontaminan yang relatif sulit didegradasi ialah senyawa hidrokarbon yang berasal dari minyak bumi atau lumpur minyak bumi. Penanganan kondisi lingkungan yang tercemar minyak bumi dapat dilakukan dengan metode fisika, kimia, dan biologi. Penanganan secara kimia dan fisika merupakan cara penanganan cemaran minyak bumi yang membutuhkan waktu relatif singkat, tetapi metode ini relatif tidak ramah lingkungan. Penanganan metode biologi relatif tidak merusak lingkungan dibandingkan dengan metode kimia dan fisika. Penanganan ini menggunakan teknik bioremediasi dengan memanfaatkan mikroba (kapang dan bakteri) untuk menghilangkan cemaran dari lingkungan. Bioremediasi merupakan proses detoksifikasi dan degradasi limbah minyak. Penanggulangan limbah minyak bumi secara hayati cukup efektif, efisien, ekonomis, dan lebih ramah lingkungan [1].

Tidak semua mikroba dapat mendegradasi minyak bumi, hanya mikroba yang dapat beradaptasi dengan minyak bumi yang dapat melakukan biodegradasi. Kotoran hewan merupakan bahan aktif, yang banyak mengandung mikroba. Selain kaya akan mikroba perombak, kotoran hewan juga memiliki kandungan nutrisi yang cukup bagi pertumbuhan mikroba. Secara umum, kotoran segar hewan mengandung 70 – 80% air, 0.3 – 0.6% nitrogen, 0.1 – 0.4% fosfor dalam bentuk P_2O_5, 0.3 – 1.0% kalium dalam bentuk K_2O [2].

Anggraeni (2003) [2] mengisolasi mikroba pendegradasi minyak bumi dari kotoran hewan dan mengidentifikasi 3 isolat yaitu *Pseudomonas pseudomallei*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Enterobacter agglomerans*. Hikmatulloh (2004) [3] dan Zaky (2005) [4] mengujicobakan isolat pendegradasi tersebut pada minyak diesel. Kotoran sapi dan kuda merupakan sumber isolat mikroba yang dapat dimaanfaatkan dalam mendegradasi minyak bumi. Isolat-isolat ini dapat digunakan untuk mendegradasi senyawa hidrokarbon secara spesifik, baik dalam keadaan tunggal maupun campuran. Penelitian ini difokuskan pada pembuatan dan uji kemampuan konsorsium mikroba dalam mendegradasi cemaran hidrokarbon minyak bumi, sehingga mikroba dapat digunakan untuk memulihkan tanah yang tercemar limbah minyak bumi.

2 METODOLOGI

Alat-alat yang digunakan adalah Soxhlet, radas penguap putar (*rotary evaporator*), desikator, inkubator goyang, autoklaf, inkubator, oven, neraca analitik, ember, mikropipet, indikator pH universal, dan alat gelas lainnya. Bahan-bahan yang digunakan adalah LMB yang berasal dari industri minyak bumi di Duri, kotoran segar sapi dan kuda yang diambil dari Kandang Sapi Fakultas Peternakan dan Fakultas Kedokteran Hewan IPB, Darmaga. Bahan-bahan untuk keperluan pertumbuhan mikroba meliputi : gula, pupuk urea, pupuk SP36, media mineral dari air laut, larutan garam fisiologis (NaCl 0,85%) , *Nutrient Agar* (NA), solar, akuades, alkohol, serta bahan-bahan untuk keperluan analisa antara lain n-heksana, Na_2SO_4, $K_2Cr_2O_7$, $HgSO_4$, akuades, indikator ferroin, ferro amin sulfat dan silika gel.

Tahapan penelitian ini terdiri dari pembuatan konsorsium segar menggunakan kotoran sapi dan kuda, pembuatan media minimal, dan aplikasi biodegradasi LMB dan analisa Total Plate Count (TPC), Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) fase padat, TPH fase cair, Kebutuhan Oksigen Kimiawi (KOK), dan pH.

2.1 Pembuatan Konsorsium Segar pada Media Kaya

Sebanyak 200 g contoh kotoran sapi dilarutkan dalam 2 L air laut dalam ember dan ke dalamnya ditambahkan 200 g gula, 20 g urea, 2 g SP36. Hal yang sama juga dilakukan pada kotoran kuda. Contoh disimpan di laboratorium pada temperatur ruang (25-27 ^oC) dan diaerasi selama 1 minggu. Setiap hari dilakukan pengukuran pH contoh, bila pH terlalu asam atau terlalu basa ditambahkan H_2SO_4 6 N atau NaOH 6 N sampai pH normal.

2.2 Pembuatan Media Minimal dari Konsorsium segar

Sebanyak 400 ml konsorsium segar baik sapi maupun kuda dilarutkan dengan air laut sebanyak 4 liter dan ditambahkan dengan solar 5 % (v/v), 8 g urea, 0.8 g SP36 dan diaerasi selama 3 minggu. Setiap hari diamati pH dan setiap minggu diamati TPC. Setelah 3 minggu penambahan solar, dilakukan penyegaran dengan penambahan LMB 5 % (b/v) selama 2 minggu.

2.3 Aplikasi Biodegradasi Untuk LMB

Penambahan LMB 5 % (b/v), sebanyak 10 ml konsorsium segar dari kotoran sapi ditambahkan LMB 28.26 g dalam Erlenmeyer 250 ml, kemudian ditambahkan dengan air laut

sebanyak 100 ml, 0.7345 g urea, dan 0.4903 g SP36. Penambahan LMB 10 % (b/v), sebanyak 10 ml konsorsium segar dari kotoran sapi ditambahkan LMB sebanyak 56.52 g dalam Erlenmeyer 250 ml, kemudian ditambahkan dengan air laut sebanyak 100 ml, 1.4690 g urea, dan 0.9806 g SP36. Konsorsium media diletakkan pada inkubator goyang selama 3 minggu. Pada hari ke-0, 3, 7, 14, dan 21 dilakukan analisa TPC, TPH fase padat, TPH fase cair, KOK, dan pH. Hal yang sama dilakukan pada konsorsium segar dari kotoran kuda.

2.4 Analisa *Total Plate Count* (TPC) [5]

Larutan fisiologis NaCl 0.85% dimasukkan ke dalam tabung ulir (dengan label 10^{-1} sampai 10^{-8}) sebanyak 9 ml. Selanjutnya tabung ulir berisi larutan fisiologis disterilisasi beserta cawan petri, nutrient agar yang telah disiapkan dan tip untuk mikropipet pada suhu 121°C selama 15 menit. Setelah sterilisasi, tabung ulir didinginkan.

Sebanyak 1 ml sampel dimasukkan ke dalam tabung ulir dengan label 10^{-1}, lalu tabung ulir tersebut dikocok hingga homogen, pengenceran (10^{-1} – 10^{-8}). Dari semua tabung ulir (10^{-1} – 10^{-8}), masing- masing dipipet sebanyak 1 ml ke dalam cawan petri steril terpisah, kemudian larutan nutrient agar dituang. Setelah agar padat cawan diinkubasi terbalik pada suhu 30°C selama 24-48 jam. Jumlah koloni yang tumbuh pada cawan petri tersebut dihitung. Jumlah koloni yang dapat diterima antara 30-300.

2.5 Analisa TPH Fase Padat (Modifikasi [6])

Sebanyak 5 gram sampel ditimbang kemudian dibungkus dengan kertas saring dan dibuat timbel. Timbel yang telah dibuat tersebut dimasukan dalam Soxhlet dan diekstrak dengan pelarut n-heksana 125 ml selama ± 4 jam. Ekstrak yang diperoleh dihilangkan airnya dengan Na_2SO_4 anhidrat dan disaring, kemudian ditambahkan silika gel untuk menghilangkan senyawa polarnya dan disaring. Ekstrak yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam labu bundar dan dipekatkan dengan penguap putar (*rotavapor*) hingga pekat atau sudah terpisah dengan pelarutnya. Labu bulat yang berisi sampel uang sudah terekstrak dikeringkan dalam oven pada suhu 70 ºC selama 30 menit kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang, Bobot yang terukur merupakan residu minyak (nilai TPH).

2.6 Analisa TPH Fase Cair (Modifikasi [7])

Sebanyak 50 ml sampel yang telah dicampur dengan limbah minyak disaring kemudian diekstrak dengan corong pisah menggunakan 50 ml heksana selama 1 jam. Kandungan air pada ekstrak dihilangkan dengan menambahkan Na_2SO_4 anhidrat dan disaring, kemudian ditambahkan silika gel untuk menghilangkan senyawa-senyawa polar dan disaring. Ekstrak yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam labu bundar dan dipekatkan dengan penguap putar (*rotavapor*) hingga pekat atau sudah terpisah dengan pelarutnya. Labu bulat yang berisi sampel uang sudah terekstrak dikeringkan dalam oven pada suhu 70 ºC selama 30 menit kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang, Bobot yang terukur merupakan residu minyak (nilai TPH cair).

2.7 Analisa Kadar KOK [8]

Sebanyak 2.5 ml sampel diambil menggunakan pipet dan dimasukkan ke dalam tabung KOK, kemudian 1.25 ml larutan campuran kalium dikromat-merkuri sulfat dimasukkan menggunakan pipet ke dalam sampel. Setelah itu, ditambahkan 2.5 ml larutan campuran asam sulfat-perak sulfat dan campuran diaduk kemudian ditutup. Tahap diatas diulangi pada 2.5 ml air suling sebagai blanko. Setelah masing-masing unit pengaman pada tutup dipasang, tabung dimasukkan ke dalam oven pada suhu 150°C. Setelah 2 jam, tabung KOK dikeluarkan dari dalam oven dan dibiarkan hingga dingin. Campuran dari tabung KOK dipindahkan ke dalam labu erlenmeyer 100 mL dan dibilas dengan 2.5 ml air suling. Lalu, 0.5 ml asam sulfat pekat dan 2 tetes larutan indikator feroin ditambahkan secara berturut-turut ke dalam campuran. Campuran dititrasi dengan larutan baku fero amonium sulfat 0.05 N yang telah distandardisasi sampai terjadi perubahan warna dari hijau menjadi merah coklat lalu dicatat volume pemakaian larutan baku fero amonium sulfat.

2.8 Analisa pH

Sebanyak 5 ml sampel dimasukkan ke dalam tabung ulir, kemudian sampel diukur pH menggunakan indikator universal (pH 2-9) selang 0.5.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

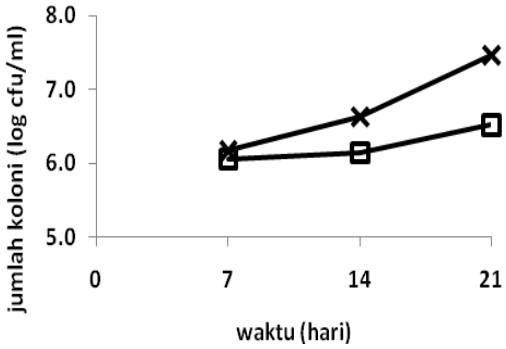
3.1 Pembuatan Konsorsium Mikroba

Pembuatan konsorsium mikroba dari kotoran sapi dan kuda yang masih segar menggunakan media air laut karena banyak mengandung media mineral yang dibutuhkan dalam menumbuhkan mikroba. Selain itu juga ditambahkan nutrisi lain seperti gula sebagai sumber karbon, urea sebagai sumber nitrogen, dan SP36 sebagai sumber fosfor dengan perbandingan C:N:P sebesar 100:10:1. Proses pembuatan konsorsium ini menggunakan media kaya. Penggunaan media kaya bertujuan agar mikroba dapat tumbuh dengan cepat. Pembuatan konsorsium segar ini dimulai dari skala 2 liter dan dilakukan pengamatan pH setiap harinya selama tiga hari dan terus diaerasi untuk metabolisme pertumbuhannya. Bagi mikroba aerobik, oksigen merupakan faktor penting bagi kelangsungan hidupnya.

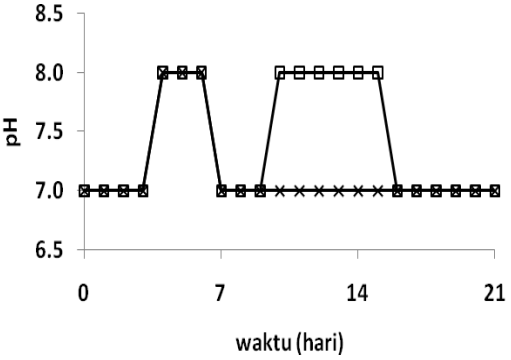
Nilai pH pada konsorsium dari kotoran sapi dan kuda berada pada kisaran pH 5-8. Pada hari ke-0 nilai pH yang terukur adalah 7. Pengamatan pada hari ke-1 mengalami penurunan menjadi 5 dan kemudian pH dinaikkan dengan NaOH menjadi kondisi netral (pH 7) dan terus konstan sampai hari ke-3. Proses penurunan nilai pH ini menunjukkan proses biodegradasi yang menghasilkan asam-asam organik.

Setelah tiga hari konsorsium segar ini diperbesar skalanya menjadi 4 liter pada media minimal untuk keperluan aplikasi dengan menambahkan solar 5 % (v/v). Proses penambahan ini sengaja dilakukan untuk mengkondisikan mikroba yang berasal dari kotoran sapi dan kotoran kuda agar dapat bertahan hidup pada lingkungan yang mengandung minyak dengan memanfaatkan hidrokarbon sebagai sumber karbon dan digunakan untuk aktivitas metabolismenya, sehingga dapat diaplikasikan pada tanah tercemar LMB. Proses ini dilakukan selama 3 minggu dan setiap minggunya dilakukan penyegaran media dengan penambahan solar 5 % (v/v) dan analisa TPC.

Pertumbuhan mikroba setiap minggunya semakin meningkat. Hal ini menunjukkan mikroba mampu beradaptasi, tumbuh, dan mendegradasi senyawa hidrokarbon. Jumlah koloni terbesar terdapat pada konsorsium sapi yang mencapai 10^7 cfu/ml, sedangkan jumlah koloni yang terdapat pada konsorsium kotoran kuda hanya mencapai 10^6 cfu/ml (Gambar 2).



Gambar 2 Pertumbuhan populasi mikroba konsorsium kotoran sapi (□) dan kuda (×) pada media minimal dengan penambahan solar 5 % (v/v)



Gambar 3 Perubahan nilai pH konsorsium kotoran sapi (□) dan kuda (×) pada media minimal dengan penambahan solar 5 % (v/v)

berkisar antara 7-8 dengan pH awal adalah netral kemudian pada hari ke-4, meningkat menjadi 8 dan konstan hingga hari ke-6, pH menurun pada hari ke-7 menjadi 7 dan konstan hingga hari ke-9. Pada hari ke-10, pH menjadi 8 dan konstan hingga hari ke-15. pH meningkat disebabkan oleh adanya senyawa basa seperti NH_3 yang dihasilkan mikroba dalam proses biodegradasi. Pada hari ke-16 pH turun menjadi 7 dan konstan hingga hari ke-21. pH awal media minimal pada konsorsium dari kotoran kuda adalah 7 kemudian pada hari ke-4, pH meningkat menjadi 8 dan konstan hingga hari ke-6. Pada hari ke-7 pH menurun menjadi 7 dan konstan hingga hari ke-21. pH menurun disebabkan adanya senyawa asam-asam organik hasil biodegradasi. Perubahan nilai pH ini juga dipengaruhi oleh kemampuan mikroba dalam menjaga kelangsungan aktivitasnya. pH yang teramati masih berada pada kisaran pH optimum yaitu 6-8.

Lapisan minyak konsorsium dari kotoran sapi lebih cepat menipis dan habis pada hari ke-8, sedangkan lapisan minyak konsorsium dari kotoran kuda habis pada hari ke-12. Mikroba mengkonsumsi hidrokarbon sebagai sumber C sehingga lapisan minyak semakin menipis. Lapisan minyak pada konsorsium kotoran sapi lebih cepat menipis karena pada kotoran sapi cenderung memiliki komposisi kandungan hemiselulosa, selulosa, lignin, total protein, dan kadar abu yang seimbang sehingga mikroba lebih mudah mencernanya dibandingkan dengan konsorsium kotoran kuda yang memiliki kandungan protein dalam

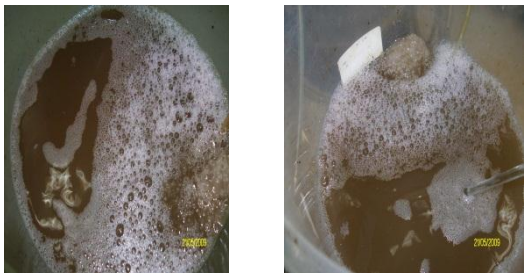
jumlah rendah namun kandungan selulosa dan hemiselulosanya tinggi. Semakin cepat lapisan minyak ini habis menunjukkan kemampuan bakteri dalam mendegradasi hidrokarbon semakin baik. Pengamatan lapisan minyak pada konsorsium dapat dilihat pada Gambar 4.

(a) (b)

Gambar 4 Lapisan minyak pada konsorsium kotoran sapi (a) dan kuda (b) dengan penambahan solar 5 % (v/v)

Pada proses bidegradasi akan menghasilkan gas yang akan membentuk gelembung-gelembung udara dan mengapung

di atas permukaan konsorsium. Semakin lama waktu inkubasi, maka gelembung udara yang terbentuk akan semakin meningkat terutama setelah hari ke-7. Gelembung udara yang terbentuk pada konsorsium dari kotoran sapi lebih banyak dibandingkan gelembung udara pada konsorsium dari kotoran kuda (Gambar 5). Adanya gelembung udara menunjukkan bahwa terdapat aktivitas metabolisme dari mikroba yang menghasilkan gas seperti karbon dioksida, uap air, metana, dan amoniak [9].



(a) (b)

Gambar 5 Gelembung udara pada konsorsium kotoran sapi (a) dan kuda (b)

Setelah tiga minggu penambahan solar, dilakukan penyegaran media dengan menambahkan LMB 5 % b/v selama 2 minggu. Hal ini untuk mengadaptasikan mikroba dengan senyawa polutan yang akan didegradasinya.

3.2 Aplikasi Biodegradasi

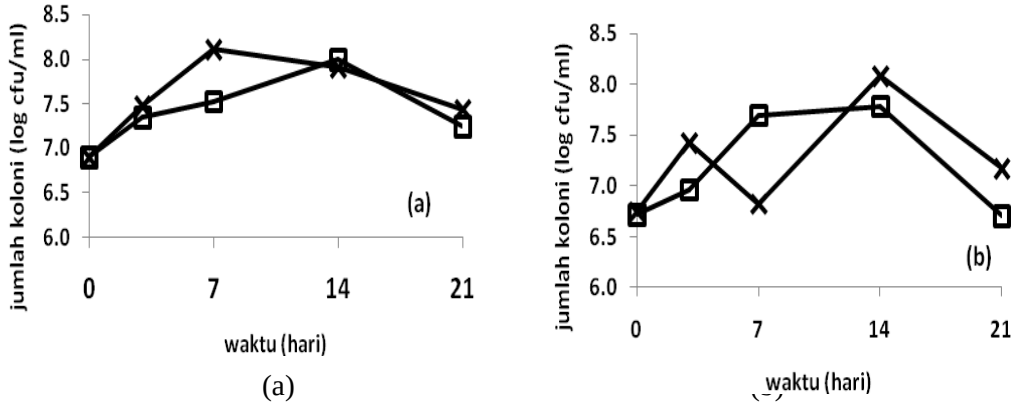
Batasan utama dalam biodegradasi hidrokarbon minyak bumi dalam tanah maupun air adalah ketersediaan sumber nitrogen dan fosfor sebagai nutrisi bagi pertumbuhan mikroba. Untuk memenuhi kebutuhan nutrisi mikroba tersebut maka dalam penelitian ini ditambahkan SP36 dan urea. Penambahan nutrisi ini dapat mengaktifkan mikroba sehingga mempercepat proses penguraian hidrokarbon minyak bumi.

Aplikasi ini menggunakan kotoran sapi dan kuda yang ditambahkan dengan LMB 5 % (b/v) dan 10 % (b/v) yang akan didegradasi, dilakukan dengan inkubator goyang untuk tujuan aerasi. Aplikasi ini dilakukan selama 21 hari dan dianalisis pada hari ke-0, hari ke-3, hari ke-7, hari ke-14, dan hari ke-21 terhadap pH, TPH, KOK, dan TPC.

3.2.1 Perubahan Nilai TPC Selama Proses Biodegradasi

Konsorsium mikroba ini merupakan kumpulan dari berbagai macam mikroba yang terdapat pada kotoran sapi dan kotoran kuda.

Jumlah koloni merupakan pertumbuhan mikroba yang terkandung dalam sampel. Jumlah koloni mikroba dengan penambahan LMB 5 % (b/v) mengalami peningkatan dari hari ke-0 dan hari berikutnya (Gambar 6 a). Hal ini menunjukkan mikroba dapat memanfaatkan senyawa yang terkandung dalam LMB sebagai sumber nutrisinya. Jumlah koloni konsorsium kotoran sapi dan kuda dari 10^6 cfu/ml menjadi 10^8 cfu/ml menunjukkan pertumbuhan pada mikroba dan pada hari terakhir (hari ke-21) mengalami penurunan menjadi 10^7 cfu/ml, jumlah koloni yang berkurang ini menunjukkan fase kematian pada mikroba.



(a) (b)

Gambar 6 Pertumbuhan mikroba pada konsorsium kotoran sapi (□) dan kuda (×) dengan penambahan LMB 5 % (b/v) (a) dan 10 % (b/v) (b)

Pertumbuhan mikroba pada konsorsium kotoran sapi dan kuda dengan penambahan LMB 10 % (b/v) dapat dilihat pada Gambar 6 b. Jumlah koloni pada konsorsium kotoran sapi dari 10^6 cfu/ml menjadi 10^7 cfu/ml menunjukkan fase pertumbuhan pada mikroba dan pada hari terakhir (hari ke-21) mengalami penurunan menjadi 10^6 cfu/ml, jumlah koloni yang berkurang ini menunjukkan fase kematian pada mikroba, sedangkan jumlah koloni pada konsorsium kotoran kuda dari 10^6 cfu/ml menjadi 10^8 cfu/ml menunjukkan pertumbuhan pada mikroba dan pada hari ke-21 berkurang menjadi 10^7 cfu/ml. Semakin berkurangnya jumlah koloni mikroba disebabkan semakin berkurangnya nutrisi yang dapat dikonsumsi oleh mikroba dan ini menunjukkan fase kematian pertumbuhan mikroba. Semakin meningkat jumlah koloni, maka nilai TPH padat akan menurun.

Jumlah koloni pada konsorsium kotoran sapi cenderung lebih meningkat dibandingkan dengan konsorsium dari kotoran kuda. Hal ini berkaitan dengan jenis mikroba yang terdapat pada kotoran sapi lebih banyak yang dapat mendegradasi limbah minyak bumi dibandingkan dengan mikroba pada kotoran kuda, jumlah kandungan nutrien pada kotoran sapi lebih seimbang dibandingkan dengan kotoran kuda, dan pertumbuhan mikroba pada kotoran sapi lebih cepat dibandingkan mikroba pada kotoran kuda saat proses pengayaan. Beberapa spesies bakteri yang terkandung dalam limbah kotoran sapi [10] antara lain *Escherichia coli, Citrobacter freundii, Pseudomonas putrefasciens, Enterobacter cloacae, Proteus morganii, Salmonella* spp*, Enterobacter aerogenes, Flavobacterium, Pseudomonas fluorescens,* dan *Providencia alcalifasciens*, sedangkan mikroba yang terkandung di dalam sekum, kolon, dan tinja ternak kuda antara lain *Entamoeba caprae, Calismatix equi,* dan *Entamoeba equi.* Komposisi kimia kotoran kuda, ditemukan kandungan protein dalam jumlah rendah namun kandungan selulosa dan hemiselulosanya tinggi. Berbeda dengan kotoran sapi yang cenderung memiliki komposisi kandungan hemiselulosa, selulosa, lignin, total protein, dan kadar abu yang seimbang. [2] dapat mengisolasi 12 isolat dari kotoran sapi yang mampu memanfaatkan senyawa hidrokarbon dan mengidentifikasi 3 isolat yaitu *Pseudomonas pseudomallei, Pseudomonas aeruginosa,* dan *Enterobacter agglomerans*. Jumlah koloni berkaitan dengan persentase degradasi. Secara umum semakin besar jumlah koloni mikroba maka semakin tinggi persentase degradasinya.

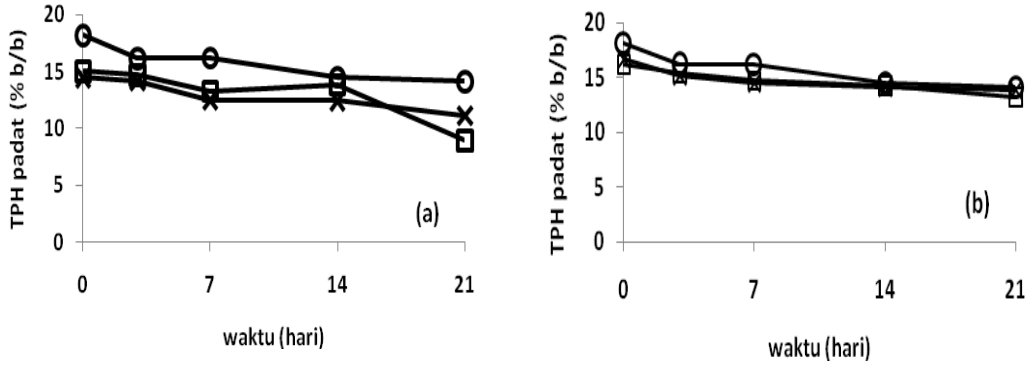
3.2.2 Penurunan TPH Fase Padatan

Parameter yang paling tepat untuk menggambarkan proses biodegradasi limbah minyak bumi adalah TPH. Kandungan hidrokarbon pada tanah yang digunakan dalam penelitian ini tergolong tinggi yaitu 17.22 % [11]. Tingginya nilai TPH awal proses biodegradasi ini membuat laju degradasi tidak optimum karena menurut [14] kondisi optimum biodegradasi terjadi pada total kontaminan (TPH) sebesar 5–10 %. Untuk mengoptimalkan proses biodegradasi, maka minyak yang ada pada tanah harus terdispersi ke dalam media air sehingga mikroba dapat mendegradasi minyak tersebut.

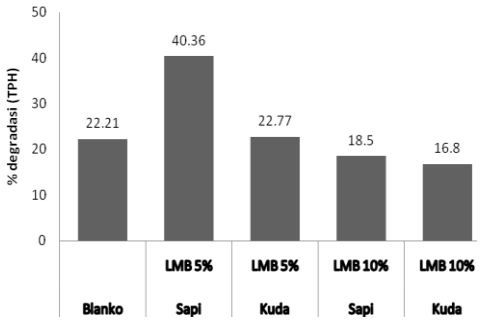
Penurunan TPH fase padatan pada konsorsium kotoran sapi dan kuda dengan penambahan LMB 5 % (b/v) dapat dilihat pada Gambar 7 a. Hasil tersebut menunjukkan, pada konsorsium kotoran sapi dan kuda nilai TPH akhir mengalami penurunan dari nilai TPH awal. Hal ini menunjukkan kemampuan bakteri dalam mendegradasi LMB. Nilai TPH awal konsorsium kotoran sapi pada penambahan LMB 5 % (b/v) adalah 15.04 % (b/b) mengalami penurunan menjadi 8.97 % (b/b). Hal ini berarti LMB yang terdegradasi sebanyak 40.36 % (Gambar 8). Konsorsium kotoran kuda, nilai TPH awalnya sebesar 14.45 % (b/b) menjadi 11.16 % (b/b). Hal ini berarti LMB yang terdegradasi sebesar 22.77 %. Penurunan nilai TPH ini sesuai dengan meningkatnya jumlah koloni bakteri yang dapat mendegradasi limbah minyak bumi, sehingga semakin banyak jumlah koloni mikroba, maka semakin banyak limbah minyak bumi yang didegradasi.

Nilai TPH fase padatan dengan penambahan LMB 10 % (Gambar 7 b) mengalami penurunan. Persen TPH fase padatan pada konsorsium kotoran sapi menurun dari 16.22 % (b/b) menjadi 13.22 % (b/b). Hal ini berarti LMB yang didegradasi sebesar 18.50 % (Gambar 8). Konsorsium kotoran kuda mengalami penurunan dari 16.67 % (b/b) menjadi 13.87 % (b/b). Hal ini berarti LMB yang didegradasi sebesar 16.80 %. Persen TPH fase padatan pada blanko juga mengalami penurunan dari 18.19 % (b/b) menjadi 14.15 % (b/b). Hal ini menunjukkan LMB terdegradasi sebesar 22.21 %. Nilai TPH fase padatan pada blanko mengalami penurunan, berarti menunjukkan LMB dapat terdegradasi. Hal ini dikarenakan adanya perlakuan fisika kimia yaitu terjadi penguapan dan juga mikroba indigenus yang terdapat pada LMB. Lestari (2010) meneliti 3 isolat mikroba terbaik yang berasal dari LMB yaitu kode MY7, MY 12, dan MYFlr dan mengkombinasikannya, sehingga didapatkan

persen degradasi terbesar yaitu 36.74 %. Oleh karena itu selain mikroba dari kotoran sapi dan kuda, mikroba indigenus dari LMB juga membantu dalam mendegradasi LMB.



Gambar 7 Penurunan TPH fase padatan pada konsorsium kotoran sapi (□), kuda (×), dan blanko (○) dengan penambahan LMB 5 % (b/v) (a) dan 10 % (b/v) (b)

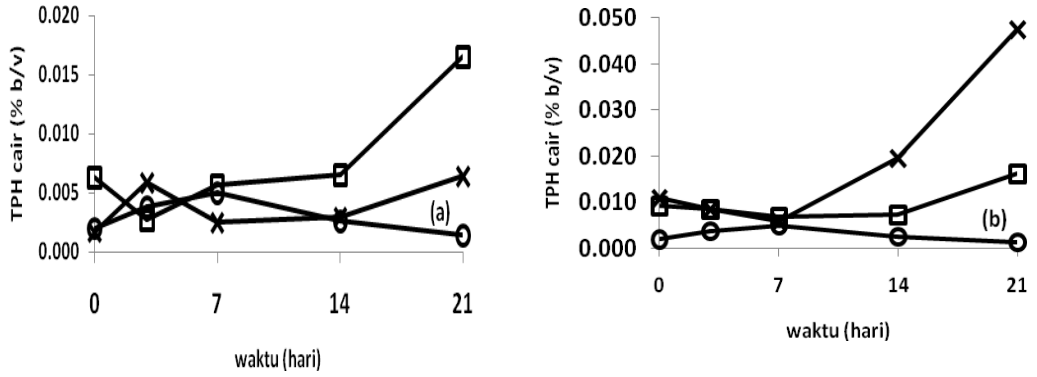


Gambar 8 Degradasi TPH pada konsorsium sapi, kuda, dan blanko dengan penambahan LMB 5 % (b/v) dan 10 % (b/v) setelah 21 hari

Semakin banyak LMB yang terdegradasi menunjukkan bahwa konsorsium kotoran sapi lebih baik dibandingkan dengan konsorsium kotoran kuda dengan penambahan LMB 5 % (b/v) maupun 10 % (b/v). Penambahan LMB 5 % menunjukkan hasil degradasi yang lebih baik dibandingkan dengan penambahan LMB 10 %. Hal ini dikarenakan LMB 5 % mempunyai toksisitas yang lebih rendah dibandingkan dengan LMB 10 % sehingga LMB 5 % lebih mudah didegradasi.

3.2.3 Perubahan Nilai TPH Fase Cairan

Parameter TPH fase cair dapat dijadikan tolok ukur juga dalam degradasi limbah minyak berat. Semakin tinggi nilai TPH cair limbah minyak berat menunjukkan semakin terdispersinya di dalam air, dan memudahkan bakteri mendegradasi limbah minyak berat.



(a) (b)

Gambar 9 Perubahan TPH fase cairan pada konsorsium kotoran sapi (□), kuda (×), dan blanko (○) dengan penambahan LMB 5 % (b/v) (a) dan 10 % (b/v) (b)

Nilai TPH fase cairan pada konsorsium kotoran sapi maupun kuda dengan penambahan LMB 5 % (b/v) mengalami peningkatan (Gambar 9 a). Pada konsorsium kotoran sapi, nilai TPH fase cairan awalnya sebesar 0.0063 % (b/v) menjadi 0.0165 % (b/v). Konsorsium kotoran kuda, nilai TPH fase cairan awalnya sebesar 0.0017 % (b/v) menjadi 0.0064 % (b/v). Perubahan nilai nini menunjukkan banyaknya LMB yang terdispersi ke dalam air.

Nilai TPH fase cairan pada konsorsium kotoran sapi maupun kuda dengan penambahan LMB 10 % mengalami peningkatan (Gambar 9 b) dari 0.0092 % (b/v) menjadi 0.0162 % (b/v). Pada konsorsium kotoran kuda TPH fase cairan awalnya sebesar 0.0109 % (b/v) menjadi 0.0475 % (b/v). Secara umum semakin menurun % TPH fase padatan, maka % TPH fase cairan akan meningkat. Hal ini dikarenakan akan semakin banyaknya limbah minyak bumi yang terdispersi dalam air, sehingga senyawa hidrokarbon dalam cairan semakin bertambah.

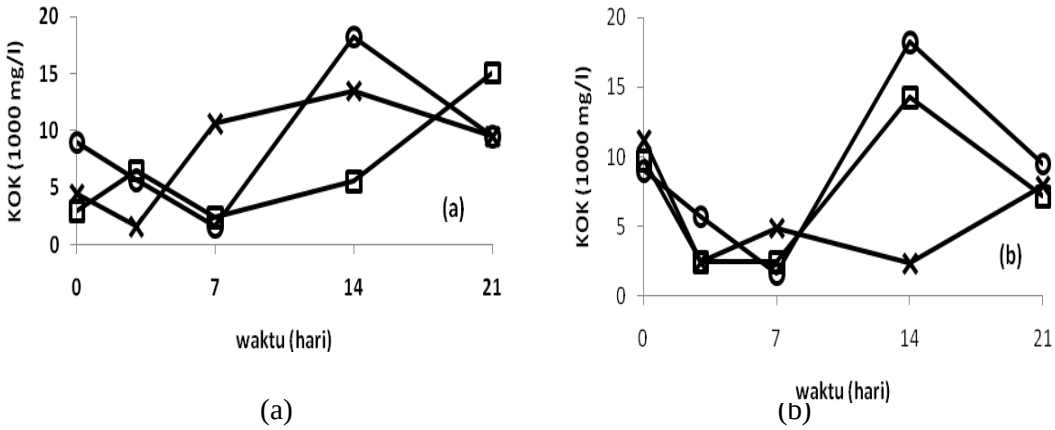
3.2.4 Perubahan Nilai KOK

Nilai KOK menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi baik yang terurai secara biologis maupun yang tidak terurai secara biologis [12].

Perubahan nilai KOK pada konsorsium kotoran sapi dan kuda dengan penambahan LMB 5 % (b/v) ditunjukkan pada Gambar 10 a. Nilai KOK pada konsorsium kotoran sapi mengalami peningkatan dari awalnya sebesar 2995 mg/L dan akhirnya menjadi 15078 mg/L.

Nilai awal KOK pada konsorsium kuda adalah sebesar 4492 mg/L meningkat menjadi 9523 mg/L. Peningkatan nilai KOK ini menunjukkan semakin banyak senyawa organik yang terkandung dalam LMB terdispersi ke fase cair, sehingga jumlah senyawa organik yang akan dioksidasi semakin banyak. Oleh karena itu, jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan senyawa tersebut menjadi senyawa yang lebih sederhana semakin tinggi.

Pada penambahan LMB 10 % (b/v) (Gambar 10 b), nilai KOK pada konsorsium kotoran sapi mengalami penurunan dari 9734 mg/L menjadi 7142 mg/L. Pada konsorsium kotoran kuda, nilai KOK mengalami penurunan dari awalnya sebesar 11232 mg/L akhirnya menjadi 7936 mg/L. Penurunan nilai ini menujukkan berkurangnya kandungan senyawa organik yang terkandung dalam limbah minyak bumi, sehingga jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan senyawa tersebut menjadi senyawa sederhana semakin sedikit. Semakin banyak LMB terdegradasi, maka nilai KOK akan semakin tinggi. Nilai KOK ini berada di atas ambang batas yang ditentukan oleh Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 3 Tahun 1998 untuk limbah cair yaitu sebesar 100 mg/L, sehingga perlu adanya perlakuan tambahan untuk menurunkan nilai KOK tersebut sehingga dapat langsung dibuang ke lingkungan secara aman.



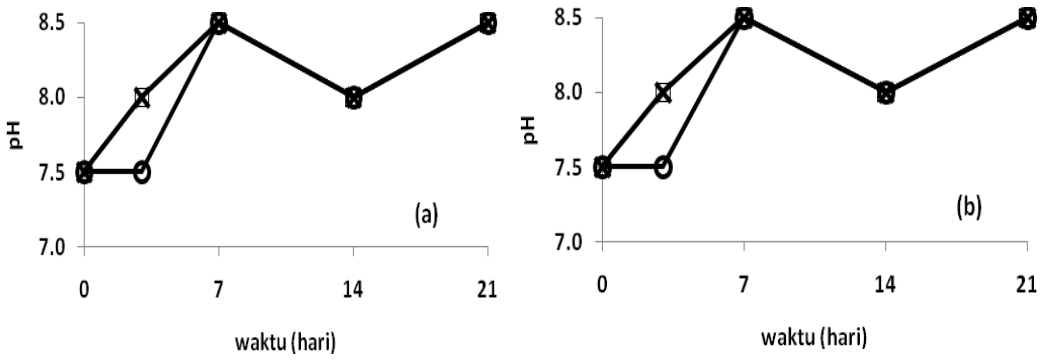
(a) (b)

Gambar 10 Perubahan nilai KOK pada konsorsium kotoran sapi (□), kuda (×), dan blanko (○) dengan penambahan LMB 5 % (b/v) (a) dan 10 % (b/v) (b)

3.2.5 Perubahan Nilai pH

Nilai pH optimum mikroba pada proses biodgradasi LMB berkisar antara 6-9. Nilai pH konsorsium kotoran sapi dan kuda dengan penambahan LMB 5 % (b/v) semakin meningkat yaitu dari 7.5 menjadi 8.5 (Gambar 11 a). Perubahan nilai pH pada penambahan

LMB 5 % dan 10 % tidak berbeda nyata Penambahan LMB 10 % (b/v), nilai pH konsorsium kotoran sapi dan kuda semakin meningkat dari 7.5 menjadi 8.5 (Gambar 11 b). Nilai pH ini masih berada di kisaran pH optimum pada mikroba pendegradasi LMB. Peningkatan nilai pH ini dikarenakan mikroba mengeluarkan senyawa basa seperti amoniak dalam proses metabolismenya.



(a) (b)

Gambar 11 Perubahan nilai pH pada konsorsium kotoran sapi (□), kuda (×), dan blanko (○) dengan penambahan LMB 5 % (b/v) (a) dan 10 % (b/v) (b)

Perubahan nilai pH pada penambahan LMB 5 % dan 10 % tidak berbeda nyata Penambahan LMB 10 % (b/v), nilai pH konsorsium kotoran sapi dan kuda semakin meningkat dari 7.5 menjadi 8.5 (Gambar 11 b). Nilai pH ini masih berada di kisaran pH optimum pada mikroba pendegradasi LMB. Peningkatan nilai pH ini dikarenakan mikroba mengeluarkan senyawa basa seperti amoniak dalam proses metabolismenya.

4 SIMPULAN DAN SARAN

Kemampuan mikroba dalam mendegradasi LMB dapat diukur dari beberapa parameter diantaranya TPC, penurunan TPH fase padatan, dan besarnya % degradasinya. Persen degradasi terbesar didapatkan dari penambahan LMB 5 %. Hal ini karena toksisitas yang rendah pada LMB 5 %. Konsorsium kotoran sapi dengan penambahan LMB 5 % pada hari ke-21 mencapai 40.36 % degradasi TPH, sedangkan konsorsium kotoran kuda mencapai 22.77 % degradasi TPH. Konsorsium kotoran sapi dengan penambahan LMB 10 % pada hari ke-21 mencapai 18.50 % degradasi TPH, sedangkan konsorsium kotoran kuda mencapai

16.80 % degradasi TPH. Konsorsium mikroba kotoran sapi pada penambahan LMB 5 % (b/v) lebih baik dalam mendegradasi LMB dibandingkan dengan mikroba pada konsorsium kotoran kuda.

LMB diketahui mengandung PAH, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai kandungan PAH yang ada, perlunya mengetahui kondisi optimum LMB dalam proses biodegradasi dengan menggunakan konsorsium kotoran sapi dan kuda.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anggraeni D. 2003. Isolasi Bakteri dan Kapang Pendegradasi Hidrokarbon Minyak Diesel dari Kotoran Hewan. [skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.

[2] [APHA] American Public Health Association. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th edition. Washington DC: APHA, AWWA & WEF.

[3] Clesceri LC, Greenberg AE, Eaton AD. 2005. *Standard Method for Examination of Water and Wastewater 21th* .5220.C- Clossed Reflux, Titrimetri Method. APHA, AWWA, WEF.

[4] Hadioetomo RS. 1993. *Mikrobiologi Dasar dalam Praktek*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

[5] Hikmatuloh YA. 2004. Kajian Kombinasi Bakteri Pada Proses Biodegradasi Minyak Diesel. [skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.

[6] [KLH]. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 3 Tahun 1998 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kawasan Industri. Jakarta: Departemen Lingkungan Hidup. [terhubung berkala]. http://www. proxsis.com/perundangan/LH/doc/uu/J07-1998-00003.pdf [Desember 2009].

[7] Rony. 2009. Pengaruh Surfaktan Anionik dan Pengadukan Terhadap Kelarutan Limbah Minyak Bumi dalam Air. [skripsi]. Bogor. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

[8] Srimulyati I. 2000. Pemanfaatan Ekstrak Kompos Kotoran Sapi untuk Mengendalikan Penyakit Bercak Ungu pada Bawang Merah (*Allium cepa lavascalonium*). [skripsi]. Bogor. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

[9] Suyeti. 2003. Kajian Produksi Serbuk Inokulum untuk Degradasi Senyawa Hidrokarbon Minyak Bumi. [skripsi]. Bogor. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

[10] Udiharto M. 1996. Bioremediasi Miyak Bumi. *Prosiding Pelatihan dan Lokakarya "Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan"*, Cibinong 24-28 Juni 1996. LIPI-BPPT-HSF.

[11] [US EPA] United States Environmental Protection Agency. 1998. Method 1664, Revision A: n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry. Washington DC: U.S.EPA.

[12] [US EPA] United States Environmental Protection Agency. 1999. Method 9071B, n-Hexane Extractable Material (HEM) for Sludge, Sediment, and, Solid Samples. Washington DC: U.S.EPA.

[13] Zaki M. 2005. Produksi dan Karakterisasi Inokulum Serta Aplikasinya dalam Mendegradasi Senyawa Hidrokarbon Minyak Bumi. [Skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.

[14] Vidali M. 2001. Bioremediation. An Overview. Department of Inorganic Chemical. University of Padova, Padova.

POTENSI MINYAK ATSIRI DAUN *Cinnamomum multiflorum* SEBAGAI INSEKTISIDA NABATI TERHADAP ULAT KUBIS *Crocidolomia pavonana*

Gustini Syahbirin[1], Catur Hertika[1], Djoko Prijono[2], Dadang[2]
[1]Departemen Kimia FMIPA IPB, [2]Departemen Proteksi Tanaman FAPERTA IPB
Gedung Fakultas Peternakan W2 Lt.4-5, Jl. Agatis Kampus IPB Darmaga, Bogor
Telp./Fax: 0251-8624567
gsyahbirin@yahoo.com

Abstrak

Penggunaan minyak atsiri kini makin meluas tidak hanya dalam bidang industri dan farmasi, melainkan dalam bidang pertanian. Minyak atsiri berbagai jenis tanaman telah dilaporkan bersifat bakterisida, fungisida, dan insektisida. Salah satu tanaman penghasil minyak atsiri ialah *Cinnamomum multiflorum* (Lauraceae). Minyak atsiri daun *C. multiflorum* diperoleh melalui distilasi uap air dengan perolehan rendemen sebesar 1.39%. Minyak atsiri daun tersebut diuji aktivitas insektisidanya terhadap ulat kubis *C. pavonana* dengan metode celup daun. Perlakuan dengan minyak atsiri tersebut pada konsentrasi 1% (b/v) mengakibatkan kematian serangga uji sebesar 93.7 %. Hasil uji lanjutan pada 6 taraf konsentrasi menunjukkan bahwa tingkat mortalitas serangga uji cukup tinggi pada 24 jam setelah perlakuan (JSP) dan meningkat pada 48 JSP. LC_{50} minyak atsiri *C. multiflorum* pada 24 dan 48 JSP masing-masing 0.504 dan 0.396%. Perlakuan dengan minyak atsiri tersebut pada konsentrasi $\leq$ 0.31% tidak menghambat perkembangan larva *C. pavonana.* Toksisitas minyak atsiri *C. multiforum* cukup mendekati toksisitas minyak mimba (LC_{50} terhadap instar II dan instar II+III masing-masing 0.851% dan 0.199%) yang memiliki efek kerja racun yang lebih lambat dibandingkan dengan *C. multiflorum.*

Kata kunci: minyak atsiri, *Cinnamomum multiflorum*, insektisida nabati, *Crocidolomia pavonana*

1. PENDAHULUAN

Masalah lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan insektisida di dunia kini menjadi perhatian para peneliti untuk menemukan suatu alternatif insektisida yang ramah bagi lingkungan. Sekitar 2.5 juta ton insektisida digunakan tiap tahunnya dan menyebabkan kerusakan mencapai Rp. 100 triliun. Hal tersebut diakibatkan oleh toksisitasnya yang tinggi dan bahan *nonbiodegradable* dalam insektisida tersebut, serta residu yang tersimpan di dalam tanah [1]. Di Indonesia tercatat bahwa hampir 95.5% petani sayuran di Jawa Barat bergantung pada insektisida sintetik dalam pengendalian hama dan penyakit [2].

Insektisida alami merupakan alternatif yang baik untuk mengurangi efek negatif yang ditimbulkan oleh pemakaian insektisida sintetik terhadap konsumen maupun lingkungan.

Salah satu bahan alam yang dapat digunakan sebagai alternatif insektisida yang ramah lingkungan adalah minyak atsiri [3]. Sejak dahulu minyak atsiri telah digunakan secara luas sebagai bakterisida, fungisida, insektisida, parfum, kosmetik serta dalam industri makanan. Penggunaan minyak atsiri juga merupakan tradisi yang lama dalam melindungi penyimpanan produk [4,1].

Minyak atsiri merupakan metabolit sekunder dari tanaman aromatik yang memiliki komponen yang komplek dengan karakteristik mudah menguap, dan memiliki aroma yang kuat. Senyawa lipofilik tersebut dapat mengganggu metabolisme dasar, psikologis, biokimia serta tingkah laku serangga. Terutama aromanya yang khusus dapat menarik serangga untuk membantu dalam penyerbukan dan penyebaran biji maupun menolak serangga [4]. Minyak ini umumnya diperoleh dari berbagai metode ekstraksi seperti proses distilasi, penggunaan cairan CO_2 superkritis atau *microwave.* Minyak atsiri dapat diperoleh dari tanaman aromatik pada bagian bunga, akar, ranting, batang, kulit dan daun. Tanaman ini umumnya tumbuh pada negara yang hangat atau beriklim tropis seperti Indonesia [3].

Komponen minyak atsiri dan turunannya dianggap sebagai alternatif yang dapat digunakan untuk mengendalikan hama serangga berbahaya dan kemampuannya yang terdegradasi dengan cepat di lingkungan. Kayu manis atau dikenal dengan *Cinnamomum* merupakan salah satu spesies dari Lauraceae yang dapat menghasilkan minyak atsiri dan memiliki potensi sebagai insektisida nabati [5,6]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kandungan minyak atsiri pada *C. cassia dan C. zeylanicum* memperlihatkan aktivitas insektisida yang baik. Adanya toksisitas minyak atsiri *C. iners, C. mollisinum* dan *C. impressicostatum* pada uji larva udang dengan LC_{50} <100µg/mL. Jantan *et al* (2005) melaporkan adanya aktivitas 8 daun *Cinnamomum* spp. terhadap nyamuk *Aedes aegypti* dan *A. albopictus.* Efek yang kuat ditunjukkan terhadap larva dewasa setelah pemaparan selama 3 jam. Kandungan benzil benzoat dan benzil salisilat yang tinggi pada *C. rhynchophyllum* diduga menjadi sumber utama aktivitas insektisida tersebut. Kandungan sinamaldehida pada *C. osmopholeum* diduga dapat menghambat pertumbuhan larva *A. albopictus* [6].

Aktivitas insektisida nabati dari *Cinnamomum* spp. terhadap serangga pemakan daun belum pernah dilaporkan sebelumnya. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengetahui potensi minyak atsiri kayu manis sebagai sumber insektisida nabati untuk mengendalikan serangga pemakan daun. Kerugian produksi pertanian akibat serangan hama,

termasuk produksi tanaman sayuran, sangat besar. Salah satu hama perusak adalah *Crocidolomia pavonana* yang lazim menyerang tanaman kubis-kubisan dan serangannya bersamaan dengan *Plutella xylostella* dapat menurunkan produksi hingga 100% [7]. Penelitian ini bertujuan mengetahui aktivitas insektisida minyak atsiri dari *C. multiflorum* terhadap hama pemakan daun *C. pavonana*, dan membandingkan aktivitasnya terhadap minyak mimba (*Azadirachta indica*) sebagai insektisida nabati komersial.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan ialah daun kayu manis *C. multiflorum* (yang diperpoleh dari Kebun Raya Bogor), Minyak mimba komersial, Na_2SO_4 anhidrat, heksana, metanol dan Tween-80. Alat-alat yang digunakan ialah radas distilasi uap air, vial kaca (1.5 cm X 4 cm), pipet mikro, cawan petri, dan alat kaca yang lazim digunakan di laboratorium.

2.2. Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri atas tahap preparasi sampel, uji pendahuluan, uji aktivitas insektisida dan uji fitotoksisitas.

2.2.1. Distilasi Daun *C. multiflorum* [8]

Sampel daun kayu manis dikering-anginkan selama 7 hari [9]. Sampel sebanyak 800–1500 g ditimbang lalu diletakkan di atas piringan berupa ayakan yang terletak beberapa cm di atas permukaan air dalam ketel penyuling. Sampel kemudian didistilasi dengan menggunakan alat distilasi uap air selama 6–7 jam pada suhu 90–100 °C. Uap dari ketel mengalir ke kondensor, dan mengalami kondensasi, dan kondensat masuk ke dalam pipa. Air dan minyak akan terpisahkan dan dikeluarkan melalui cerat. Minyak yang diperoleh ditambahkan Na_2SO_4 anhidrat untuk menjerap sisa air yang ada.

2.2.2. Uji Aktivitas Insektisida [10]

Uji Pendahuluan. Minyak atsiri hasil distilasi dilarutkan dalam campuran metanol:Tween-80 (5:1) sampai konsentrasi 1; 0.50; dan 0.10% (b/v). Pakan berupa daun

brokoli dipotong-potong berbentuk bujur sangkar (4 cm X 4 cm). Setiap daun dicelupkan ke dalam masing-masing larutan tersebut ±5 detik hingga basah merata lalu ditiriskan. Daun tersebut kemudian dimasukkan ke dalam cawan petri (diameter 9 cm) yang beralaskan tisu, kemudian 15 larva instar II *C. pavonana* yang telah berganti kulit dimasukkan ke dalam cawan tersebut. Kontrol negatif ialah pakan yang dicelupkan ke dalam pelarut metanol:Tween-80 (5:1) sebanyak 1.2 mL dalam 100 mL. Setiap perlakuan diulangi 6 kali. Perlakuan terhadap ulat dilakukan selama 2 X 24 jam. Setelah 24 jam, pakan ditambah dengan daun brokoli baru yang telah dicelupkan pada minyak atsiri uji. Pengamatan dilakukan pada 48 jam setelah perlakuan (JSP) disertai dengan penggantian pakan dengan daun tanpa pencelupan terhadap minyak atsiri uji kemudian diamati sampai hari ketiga. Jumlah ulat yang mati dicatat.

Perhitungan kematian terkoreksi ulat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\%\ \text{Kematian} = \frac{P_0 - P_c}{100 - P_0}$$

P_o = % kematian kumulatif pada perlakuan, P_c = % kematian kumulatif pada kontrol [11].

Uji Lanjutan. Konsentrasi minyak atsiri yang cukup efektif pada uji tersebut, yaitu yang mengakibatkan kematian ≥50% diuji lebih lanjut pada 6 taraf konsentrasi dengan pengulangan sebanyak 6 kali. Cara pengujian yang dilakukan sama seperti pada uji pendahuluan dengan pengamatan kematian serta perkembangan larva setiap 24 jam sekali sampai larva mencapai instar IV. Data kematian kumulatif kemudian diolah dengan analisis probit menggunakan program POLO-PC [12].

2.2.4. Uji Fitotoksisitas [10]

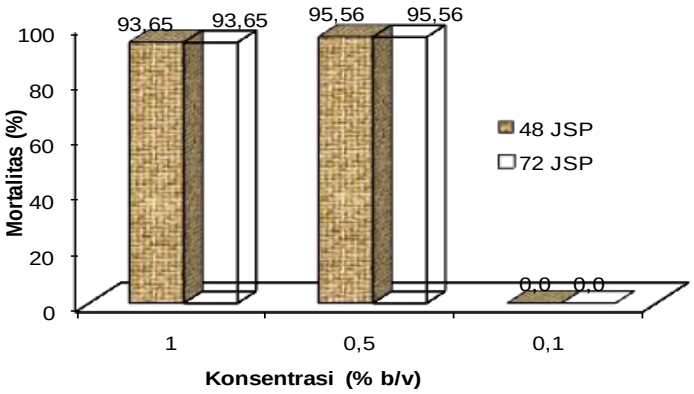
Bibit brokoli yang berusia 3 minggu disiapkan. Larutan minyak atsiri serta kontrol disiapkan dengan konsentrasi 1% kemudian diaplikasikan pada bibit brokoli dengan cara disemprotkan pada beberapa lembar daun pada bibit tersebut. Pengamatan dilakukan pada hari kedua sampai hari ketujuh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Aktivitas Insektisida

Potensi minyak atsiri daun kayu manis sebagai insektisida nabati diketahui dengan melakukan uji aktivitas insektisida yang meliputi uji mortalitas dan pengaruh ekstrak terhadap perkembangan larva. Uji dilakukan terhadap larva *C. pavonana* instar II. Larva pada tahap ini sangat aktif, mulai makan banyak (rakus), dan menyebabkan kerusakan yang berat terhadap inangnya. Digunakan instar yang baru saja berganti kulit dan belum sempat memakan daun. Pada saat proses pergantian kulit larva cenderung tidak memakan daun (puasa). Karena itu, saat proses tersebut selesai merupakan waktu yang tepat untuk memberi pakan yang telah diberi perlakuan minyak atsiri uji.

Uji mortalitas pendahuluan dilakukan dengan menguji minyak atsiri *C. multiflorum* pada konsentrasi 1: 0.5 dan 0.1% (b/v). Pengujian ini bertujuan menentukan rentang konsentrasi yang diharapkan dapat mematikan serangga uji antara 0% dan 100% [10]. Hasil uji pendahuluan disajikan pada Gambar 1, dengan persen mortalitas pada konsentrasi 0.5% mencapai ≤100%.

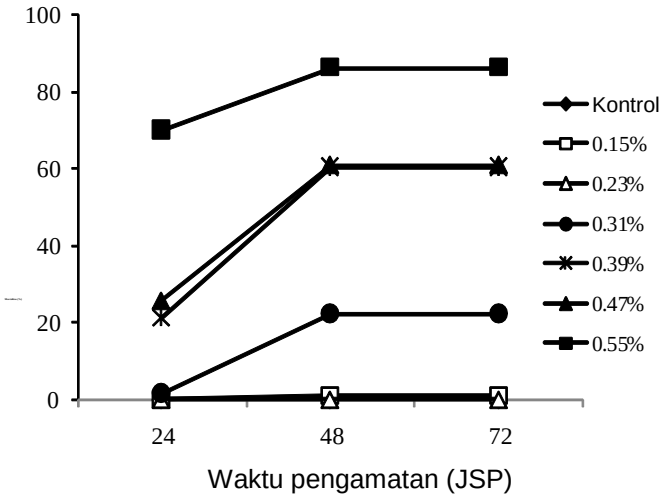


Gambar 1 Hasil uji pendahuluan pengaruh minyak atsiri daun *C. multiflorum* terhadap mortalitas larva *C. pavonana* instar II.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa pada konsentrasi 0.5% mortalitas cenderung sedikit lebih besar dibandingkan konsentrasi 1%. Hal tersebut dapat dikarenakan adanya batas konsentrasi maksimum yang mampu diterima oleh target. Uji lanjutan dilakukan dengan 6 taraf konsentrasi pada kisaran 0.1% hingga 0.5%. Hasil uji lanjut

diperlihatkan pada Gambar 2 dengan mortalitas meningkat pada 48 JSP dan cenderung konstan setelah 72 JSP.

Mortalitas larva *C. pavonana* pada konsentrasi 0.55% mencapai 75 hingga 96%. Hal ini menunjukkan bahwa minyak atsiri *C. multiflorum* berpotensi baik sebagai insektisida nabati. Insektisida nabati memiliki potensi yang baik apabila pada konsentrasi ≤1% sudah dapat mengakibatkan mortalitas serangga uji ≥80% [10].

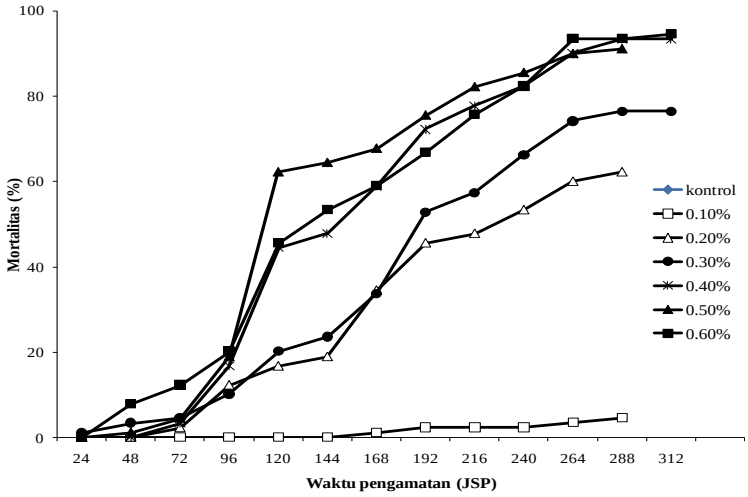


Gambar 2 Perkembangan mortalitas *C. pavonana* pada perlakuan minyak atsiri *C. multiflorum.*

Berdasarkan daya bunuh yang terjadi pada 48 JSP, diketahui bahwa efek minyak atsiri *C. multiflorum* bekerja secara cepat, dengan kematian cenderung konstan seiring lamanya waktu perlakuan. Hal ini dapat disebabkan oleh cara masuknya racun serta mekanisme kerja minyak atsiri yang diduga sebagai racun saraf dengan mengganggu neuromodulator oktopamin dalam tubuh serangga target [13]. Oktopamin memiliki spektrum biologi yang luas, dapat berperan sebagai neurohormone-neuromodulator. Gangguan kerja oktopamin mengakibatkan pematahan kerja di sistem saraf serangga [3]. Minyak atsiri bekerja dengan menekan aktivitas sistem saraf, yaitu reseptor asam butirat γ-amino (GABA) sehingga menyebabkan hiperaktivitas saraf maupun paralisis (kelumpuhan) [14, 15].

Volatilitas minyak atsiri yang besar oleh kandungan monoterpena yang tinggi, menyebabkan minyak atsiri juga dapat berperan sebagai fumigan (racun inhalasi), yaitu racun

yang bekerja melalui sistem pernapasan. Minyak atsiri masuk kedalam tubuh serangga melalui sistem pernafasan dan selanjutnya ditransportasikan ke tempat racun tersebut bekerja seperti pada sistem saraf. Adanya interaksi yang cepat dari komponen aroma minyak atsiri saat dihirup. Senyawa dalam minyak tersebut secara cepat berinteraksi dengan sistem saraf pusat dan langsung merangsang sistem olafaktori. Adanya aroma dari minyak atsiri juga ada yang memengaruhi aktivitas lokomotorik [5, 16, 17].



Gambar 3 Perkembangan mortalitas larva *C. pavonana* pada perlakuan minyak mimba.

Insektisida nabati yang telah banyak dikenal masyarakat yaitu mimba cenderung bekerja secara lambat dengan mengganggu proses fisiologis seperti mengganggu nafsu makan atau pertumbuhan serangga [11], serta bersifat sebagai racun perut, racun kontak, dan penolak hama. Gambar 3 menunjukkan mortalitas larva sebagian besar terjadi pada hari ke-4 hingga ke-11. Setelah itu, kematian hanya mengalami sedikit kenaikan hingga akhir pengamatan.

Toksisitas minyak atsiri *C. multiflorum* ditentukan sebagai konsentrasi letal (LC) pada jam setelah perlakuan yang masih memberikan kematian, yaitu 24 dan 48 JSP, sedangkan toksisitas ekstrak mimba ditentukan pada konsentrasi yang mampu menyebabkan kematian pada instar II dan instar II+III. Minyak atsiri *C. multiflorum* memberikan LC_{50} 0.50% (24 JSP) dan 0.40% (48 JSP). Nilai ini dianggap cukup toksik. Sedangkan, LC_{95} menunjukkan nilai 0.67% pada 48 JSP dan 0.7% pada 24 JSP(Tabel 1). Hasil pada semua analisis probit untuk semua perlakuan menunjukkan nilai LC_{50} dan LC_{95} pada 48 jam lebih

kecil dibandingkan LC_{50} dan LC_{95} pada 24 jam. Hal tersebut sesuai dengan pola perkembangan yang mortalitas larva yang meningkat pada 48 JSP.

Tabel 1 Pendugaan hubungan konsentrasi-mortalitas minyak atsiri *C. multiflorum*, dan ekstrak mimba terhadap larva instar II *C. pavonana* dengan metode celup daun.

Bahan uji	Waktu pengamatan (JSP)	LC_{50} (SK 95%)[a] (%)	LC_{95} (SK 95%)[a] (%)
C. multiflorum	24	0.504 (0.462–0.586)	0.752 (0.628–1.251)
	48	0.396 (0.337–0.466)	0.668 (0.540–1.226)
Mimba	Instar II	0.851 (0.675–1.639)	2.152 (1.269–10.732)
	Instar II+III	0.199 (0.138–0.251)	0.503 (0.380–0.898)

[a]SK = selang kepercayaan

Toksisitas *C. multiflorum* cukup toksik jika dibandingkan dengan ekstrak mimba. Nilai LC_{50} *C. multiflorum* sebagai insektisida baru cukup mendekati nilai LC_{50} dari ekstrak mimba yang memiliki cara kerja racun yang relatif lambat sehingga kematian terbanyak ditemukan pada perkembangan instar menuju dan mencapai instar III. Cara kerja racun dari *C. multiflorum* yang relatif cepat dapat memberikan keuntungan yaitu mengurangi besarnya residu yang tertinggal pada tanaman yang terpajan.

Pengaruh ekstrak uji terhadap larva tidak hanya kematian akibat toksisitas, namun juga berpengaruh terhadap perkembangan larva, yaitu kemampuan larva menuju tahap instar berikutnya. Kisaran perkembangan larva akibat pemberian ekstrak uji dapat dilihat pada Tabel 2. Lama perkembangan larva instar II ke III hasil perlakuan terhadap minyak atsiri berkisar 2.3−2.7 hari, sedangkan lama perkembangan larva kontrol berkisar 2 hari. Perkembangan larva instar II-IV berkisar 4.2−4.6 hari, sedangkan pada kontrol berkisar 4 hari.

Tabel 2 Pengaruh ekstrak *C. multiflorum* dan ekstrak mimba pada konsentrasi tertentu terhadap perkembangan larva *C .pavonana.*

No	Jenis perlakuan	Konsentrasi	Lama perkembangan larva (hari) ± SD[a]	
			Instar II–III	Instar II–IV
1	*C. multiflorum*	Kontrol	2.02 ± 0.17 (89) a	4.00 ± 0.00 (89) a
		0.15%	2.11 ± 0.37 (89) a	4.05 ± 0.25 (89) a
		0.23%	2.03 ± 18 (89) a	4.02 ± 0.13 (89) a
		0.31%	2.11 ± 0.29 (73) a	4.06 ± 0.17 (73) a
		0.39%	2.31 ± 0.51 (44) ab	4.23 ± 0.43 (44) b
		0.47%	2.36 ± 0.47 (38) bc	4.31 ± 0.44 (38) c
		0.55%	2.70 ± 0.25 (22) c	4.64 ± 0.23 (22) c
2	Mimba	Kontrol	2.07 ± 0.25 (88) a	4.14 ± 0.35 (88) a
		0.10%	2.40 ± 0.49 (89) b	5.05 ± 0.60 (85) ab
		0.20%	2.86 ± 0.35 (88) c	5.44 ± 1.48 (32) bc
		0.30%	3.06 ± 0.28 (88) d	6.14 ± 2.03 (21) cd
		0.40%	3.04 ± 0.33 (84) d	7.00 ± 2.00 (03) d
		0.50%	3.08 ± 0.27 (74) d	6.20 ± 1.10 (05) cd
		0.60%	3.93 ± 0.69 (55) e	10.00 ± 3.61 (03) e

[a]SD = standar deviasi. Rataan pada lajur yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji selang berganda Duncan (α = 0.05). Angka dalam kurung menunjukkan jumlah larva yang bertahan hidup

Pengaruh ekstrak uji *C. multiflorum* pada konsentrasi 0.15 hingga 0.31% tidak berbeda nyata dengan kontrol. Hasil berbeda nyata terlihat pada konsentrasi 0.39−0.55%, baik pada perkembangan instar II-III maupun II-IV. Hasil menunjukkan bahwa ekstrak uji *C. multiflorum* di bawah nilai LC_{50} tidak cukup memengaruhi proses perkembangan larva. Pada konsentrasi tersebut serangga uji menyerap senyawa asing dari ekstrak uji, namun tubuh serangga masih mampu menetralkan tanpa mengganggu kemampuannya untuk berganti kulit. Minyak atsiri *C. multiflorum* pada konsentrasi 0.39-0.55% serta ekstrak mimba pada semua konsentrasi mengakibatkan tubuh serangga mendetoksifikasi senyawa yang terserap dalam tubuh dan sebagai akibatnya, perkembangan akan lebih lama daripada keadaan normal [18].

Senyawa aktif azadiraktin pada ekstrak mimba tidak membunuh secara cepat, namun strukturnya mirip dengan ekdison, hormon yang mengatur metamorfosis serangga dari larva hingga pupa dewasa. Akibatnya, senyawa tersebut menghambat siklus sintesis hormon ini dalam tubuh serangga [19]. Pada perlakuan ekstrak *C. multiflorum,* serangga uji tidak hanya mengonsumsi residu yang terdapat pada daun perlakuan, namun juga dipengaruhi oleh aroma

minyak atsiri ekstrak uji. Kematian serta pengaruh terhadap perkembangan larva diduga akibat aroma minyak atsiri yang memengaruhi sistem saraf serangga tersebut.

3.2. Uji Fitotoksisitas

Aplikasi insektisida nabati di lapangan tidak hanya berakibat pada hama, namun dapat memengaruhi tanaman tempat hama berada. Efek merusak pada tanaman yang terpapar disebut fitotoksisitas. Zat-zat nonpolar yang berwujud minyak dalam ekstrak kasar sering kali bersifat fitotoksik dengan merusak lapisan lilin kutikula daun atau membran sel [20].

Efek fitotoksik terlihat dengan gejala daun tampak melepuh dibagian epidermis (nekrosis), warna kecokelatan, mengering dan akhirnya meninggalkan bercak putih pada daun., Permukaan daun tanaman brokoli ditutupi oleh lapisan malam (*wax*) [21]. Lapisan pada kutikula daun inilah yang dirusak oleh keberadaan komponen nonpolar seperti minyak atsiri yang juga dapat merusak membran sel daun. Hasil pengujian menunjukkan pada konsentrasi 1% gejala fitotoksisitas tidak terlihat pada *C. multiflorum* (Gambar4).

Gambar 4 Pengujian fitotoksisitas minyak atsiri *C. multiflorum* pada bibit brokoli.

4. KESIMPULAN

Minyak atsiri *C. multiflorum* memiliki aktivitas insektisida dan tidak fitotoksik terhadap bibit brokoli. Ekstrak tersebut memiliki toksisitas cukup kuat dengan nilai LC_{50} sebesar 0.396% (48 JSP) dan 0.504% (24 JSP), serta menghambat perkembangan larva *C. pavonana* pada konsentrasi ≥0.31%. Toksisitas ekstrak tersebut lebih lemah jika dibandingkan dengan ekstrak mimba.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Koul O, Walia S, Djaliwal GS. 2008. Essential oil as green pesticides: Potential and constraints. *J Biopestic Int* 4:63–84.

[2] Gusfi V. 2002. Persepsi petani sayuran di Cipanas terhadap insektisida sintesis dan botani [skripsi]. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

[3] Tripathi Ak, Upadhyay S, Bhulyan M, Bathacharya PR. 2009. A review on prospect of essential oils as biopesticides in insect-pest management. *J pharmacognosy phytoter* 1:52–63

[4] Bakkali F, Averbeck D, Averbeck S, Idaomar M. 2008. Biological effect of essential oils- a review. *Food & Chem Tox* 46: 446–475

[5] Kim SI, Roh JY, Kim DH, Lee HS, Ahn YJ. 2003. Insecticidal activities of aromatic plant extract and essential oil against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruncus chinensis. J Stored Product* 39: 293–303.

[6] Jantan I, Yalvema MF, Ahmad NW, Jamal JA. 2005. Insecticidal activities of leaf oils of eight *Cinnamomum* spesies against *Aedes aegepty* and *Aedes albopictus*. *J Pharm Biol* 43:526–532.

[7] Rukmana RH. 2001. *Bertanam Kubis.* Yogyakarta: Kanisius.

[8] Ketaren IRS. 1985. *Pengantar Teknologi Minyak Atsiri*. Jakarta: Balai Pustaka.

[9] Wuri Y, Darmadji P, Rahardja B. 2004. Sifat sensoris minyak atsiri daun kayu manis (C*innamomum burmanii* Nees ex Blume). *J Agrosains* 17:359-369.

[10] Dadang, Prijono D. 2005. *Insektisida Nabati*; *Prinsip, Pemanfaatan & Pengembangan.* Bogor: Institut Pertanian Bogor.

[11] Perry AS, Yamamoto I, Ishaaya I, Perry RY. 1997. *Insecticides in Agriculture and Environment Retrospects and Prospects*. New-York: Springer-Verlag.

[12] LeOra Software. 1987. *POLO-PC User's Guide.* Petaluma (CA): LeOra Software.

[13] Kostyukovsky M, Rafaeli A, Gileadi C, Demchenko N, Shaaya E. 2002. Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: Possible mode of action against insect pest. *Pest Manag Sci* 58:1101–1106

[14] Djojosumarto P. 2008. *Insektisida dan Aplikasinya.* Jakarta: Agromedia Pustaka.

[15] Priesley CM, Williamson EM, Wafford KA, Sattelle DB. 2003. Thymol, a constituent of thyme essential oil is a positive allosteric modulator of human GABA receptors and a homo-oligomerid GABA receptor from *Drosophila melanogaster*.Br. *J*

Pharmacol 140:1363–1372.

[16] Buckle J. 1999. Use of aromatheraphy as complementary treatment for cronic pain. *J Alternativa Ther* 5:42-51.

[17] Buchbauer G, Jager W, Dietrich H, Plank Ch, Karamat E. 1991. Aromatic evidence for sedative effect of essential oil of lavender after inhalation. *Biosci* 460:1067-1072.

[18] Nenotek PS. 2010. Bioaktivitas ekstrak kulit batang beberapa jenis tumbuhan Simaroubaceae dan daun *Tephrosia vogelii* terhadap larva *Crocidolomia pavonana* (F.) (Lepidoptera: Crambidae) [tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

[19] Gunasena HPM, Marambe B. 1998. *Neem in Srilanka, A Monograph.* Srilanka: University of Peradeniya.

[20] Prijono D. 2005. Pengembangan dan Pemanfaatan Insektisida Botani. Di dalam: *Bahan Pelatihan Singkat Pengembangan Agen Hayati dan Insektisida Botani*; Kendari, 25–30 Jul 2005. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

[21] Dono D. 2004. Aktivitas insektisida rokaglamida dan penghambatan respon imunitas larva *Crocidolomia pavonana* (Fabricus) parasitoid *Eriborus argenteopilosus* (Cameron) [disertasi]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Matematika

PERBANDINGAN MODEL NONLINEAR JERAPAN FOSFOR

Mohammad Masjkur
Departemen Statistika, FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
masjkur@gmail.com

ABSTRAK

Evaluasi model isoterm jerapan merupakan dasar penting bagi pemilihan model yang lebih efektif bagi penerapan tertentu. Penelitian ini bertujuan membandingkan model-model jerapan pada data percobaan isoterm jerapan fosfor pada tanah kaolinitik dan smektitik. Model jerapan yang digunakan adalah model Henry, Langmuir, Temkin, Gunary, Redlich-Peterson, dan Toth. Penelitian menggunakan data isoterm jerapan fosfor pada enam lokasi tanah kaolinitik Lampung dan smektitik Jawa Timur. Pendugaan model menggunakan prosedur nonlinear Marquardt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model dua parameter Langmuir, dan tiga parameter Redlich-Peterson dan Toth mempunyai koefisien determinasi lebih tinggi dari model-model lainnya. Model isoterm dua paramater dan tiga parameter nyata lebih baik dari model isoterm satu parameter. Model Redlich-Peterson mempunyai nilai Akaike Information Criteria (AIC) paling kecil, namun demikian model Redlich-Peterson tidak nyata lebih baik dari model Langmuir dan Toth.

Kata Kunci : model jerapan, nonlinear, fosfor, AIC.

1 PENDAHULUAN

Fosfor merupakan unsur hara esensial bagi produksi tanaman. Unsur hara fosfor bersifat tidak mobil di dalam tanah, biasanya dijerap oleh komponen-komponen tanah seperti Fe, Al, Ca dan bahan organik membentuk senyawa kompleks, sehingga dapat tidak tersedia bagi tanaman.

Fenomena jerapan fosfor banyak dipelajari antara lain untuk mengetahui berapa besar kapasitas jerapan tanah, kekuatan energi ikatannya dan konsentrasi P larutan sebagai indeks ketersediaan fosfor bagi tanaman bagi rekomendasi pemupukan. Hal ini dilakukan dengan cara memberikan unsur hara fosfor pada beberapa konsentrasi. Respons yang diukur adalah berapa banyaknya fosfor yang dijerap oleh tanah.

Hubungan antara konsentrasi fosfor yang dijerap (q) dengan jumlah fosfor yang berada dalam larutan (c) biasanya dimodelkan dengan model-model jerapan *(sorption model),*

baik model linear maupun model nonlinear. Biasanya model nonlinear ditransformasi menjadi model linear, sehingga pendugaan parameter model dapat menggunakan regresi linear. Namun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan optimasi nonlinear lebih baik daripada pendekatan linear dalam pendugaan parameter [1, 2].

Kesesuaian model-model jerapan terhadap data jerapan unsur/komponen kimia berbeda-beda, sehingga evaluasi model isoterm jerapan merupakan dasar penting bagi pemodelan terbaik data jerapan unsur/komponen kimia tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model Langmuir dua parameter lebih baik daripada model Freundlich, dan sama baiknya dengan model tiga parameter Langmuir-Freundlich dan model empat parameter Langmuir dua permukaan *(two surface Langmuir)* pada data jerapan fosfor tanah kaolinitik dan smektitik [3, 4].

Ho *et al.* [5] menggunakan enam metode analisa sisaan *(error analysis)* mendapatkan bahwa model Sips (Langmuir-Freundlich) paling baik diantara model Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson, Toth, Temkin, dan Dubinin-Radushkevich pada data jerapan ion logam dua valensi Cu, Ni dan Pb pada tanah gambut, sedangkan Ho [1] mendapatkan bahwa model Langmuir dan Redlich Peterson dengan optimisasi nonlinear mempunyai koefisien determinasi lebih baik daripada model Freundlich pada data jerapan timah (Pb) pada tanah gambut. Reyhanitabar *et. al.* [6] mendapatkan bahwa model Gunary dan Temkin cukup baik menggambarkan data jerapan Zn pada tanah kapur.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui model terbaik diantara model isoterm jerapan satu parameter Henry, dua model dua parameter (Langmuir, Temkin), tiga model tiga parameter (Gunary, Redlich-Peterson, dan Toth) pada data jerapan fosfor tanah kaolinitik dan smektitik.

2 DATA DAN METODE

2.1 Data

Penelitian ini menggunakan data isoterm jerapan P pada tanah kaolinitik dan smektitik. Konsentrasi P ditambahkan yaitu : 0, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, dan 500 ppm P untuk tanah kaolinitik, sedangkan pada tanah smektitik digunakan konsentrasi P : 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 dan 500 ppm P. Inkubasi dilakukan selama 6 hari sambil dikocok 2x30 menit/hari (pagi dan siang). Setelah ekuilibrasi selesai, suspensi

disentrifusi untuk mendapatkan cairan jernih. Kadar P dalam supernatan ditetapkan dengan spektrofotometer. Perbedaan antara jumlah P yang tinggal dalam larutan (C) dengan jumlah P yang diberikan adalah jumlah P yang dijerap oleh tanah (Q).

2.2 Metode

Isoterm jerapan P dimodelkan dengan persamaan jerapan sebagai berikut,

1. Model Henry,

$$Q = K_H C \quad (1)$$

dengan Q = P dijerap tanah (mg kg $^{-1}$), C = konsentrasi P dalam larutan keseimbangan (mg L^{-1}), K_H = parameter Henry.

2. Model Langmuir,

$$Q = Q_m K_L C/(1 + K_L C)$$

Q_m = parameter jerapan maksimum (mg kg $^{-1}$), dan K_L = parameter energi ikatan (L mg^{-1}).

3. Model Tempkin,

$$Q = K_1 + K_2 L_n C \quad (3)$$

K_1 , K_2 = koefisien jerapan Tempkin

4. Model Gunary,

$$Q = K_1 + K_2 C + K_3 C^{0.5} \quad (4)$$

K_1 , K_2 , K_3 = koefisien jerapan Gunary

5. Model Redlich-Peterson,

$$Q = K_R C/(1 + a_R C^{bR}) \quad (5)$$

K_R , a_R , b_R = koefisien jerapan Redlich-Peterson

6. Model Toth,

$$Q = K_t C/(a_t + C)^{1/t} \quad (6)$$

K_t , a_t , t = koefisien jerapan Toth [6, 9].

Pendugaan parameter model isoterm jerapan menggunakan metode kuadrat terkecil nonlinear algoritma Marquardt. Keterandalan model dievaluasi menggunakan kriteria (1) koefisien determinasi (R^2), (2) uji F yaitu F-rasio = $[SSE_1 – SSE_2 / (p_2 – p_2)]/ [SSE_2 /(N – p_2]$ dimana SSE = Sum Squares of Error, *subscript* 1 menunjukkan model lebih sederhana (Model 1) dan *subscript* 2 menunjukkan model dengan jumlah parameter lebih banyak (Model 2). Jika nilai-P lebih kecil dari taraf nyata 5 persen, maka model alternatif (Model 2)

menggambarkan data nyata lebih baik daripada model hipotesis nol (Model 1), dan (3) informasi Akaike (*Akaike Information Criterion (AIC))* yaitu AIC = N ln (SSE/N) + 2 (p + 1) + [2 (p+1) (p+2)/(N – p -2)]. Model dengan nilai AIC terkecil dipertimbangkan sebagai model terbaik. Peluang bahwa model dengan nilai AIC terkecil merupakan model terbaik adalah P = exp (0.5Δ)/(1+0.5Δ) dimana Δ = beda absolut AIC antara dua model [7, 8].

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Model Satu Parameter

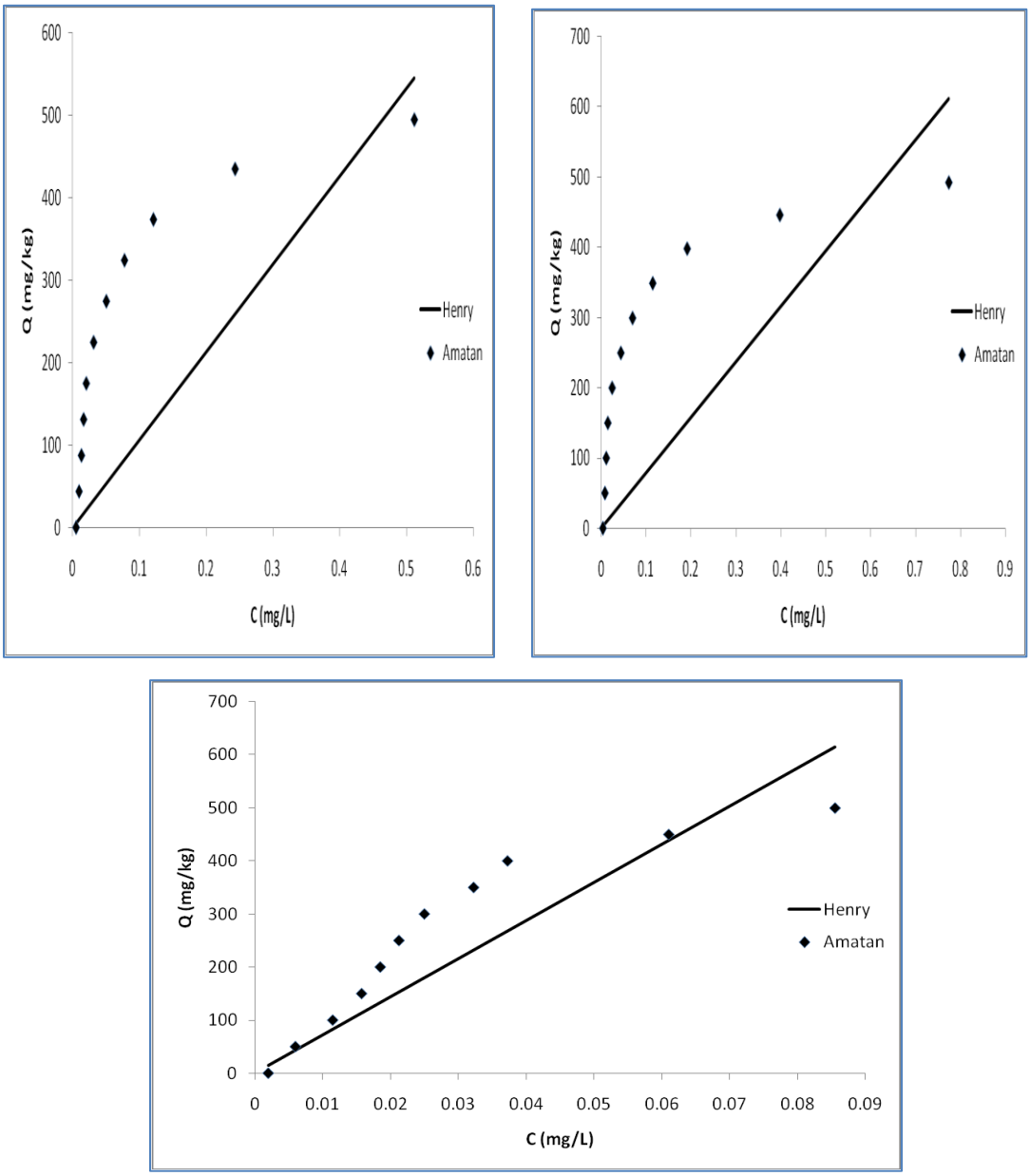
Model satu parameter Henry adalah model isoterm paling sederhana digunakan pada penelitian ini. Hasil dugaan parameter model Henry dan nilai R^2 pada enam lokasi tanah kaolinitik dan smektitik tercantum pada Tabel 1. Adapun plot model Henry isoterm jerapan P pada tanah kaolinitik dan smektitik dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.

Tabel 1 Dugaan parameter model Hukum Henry

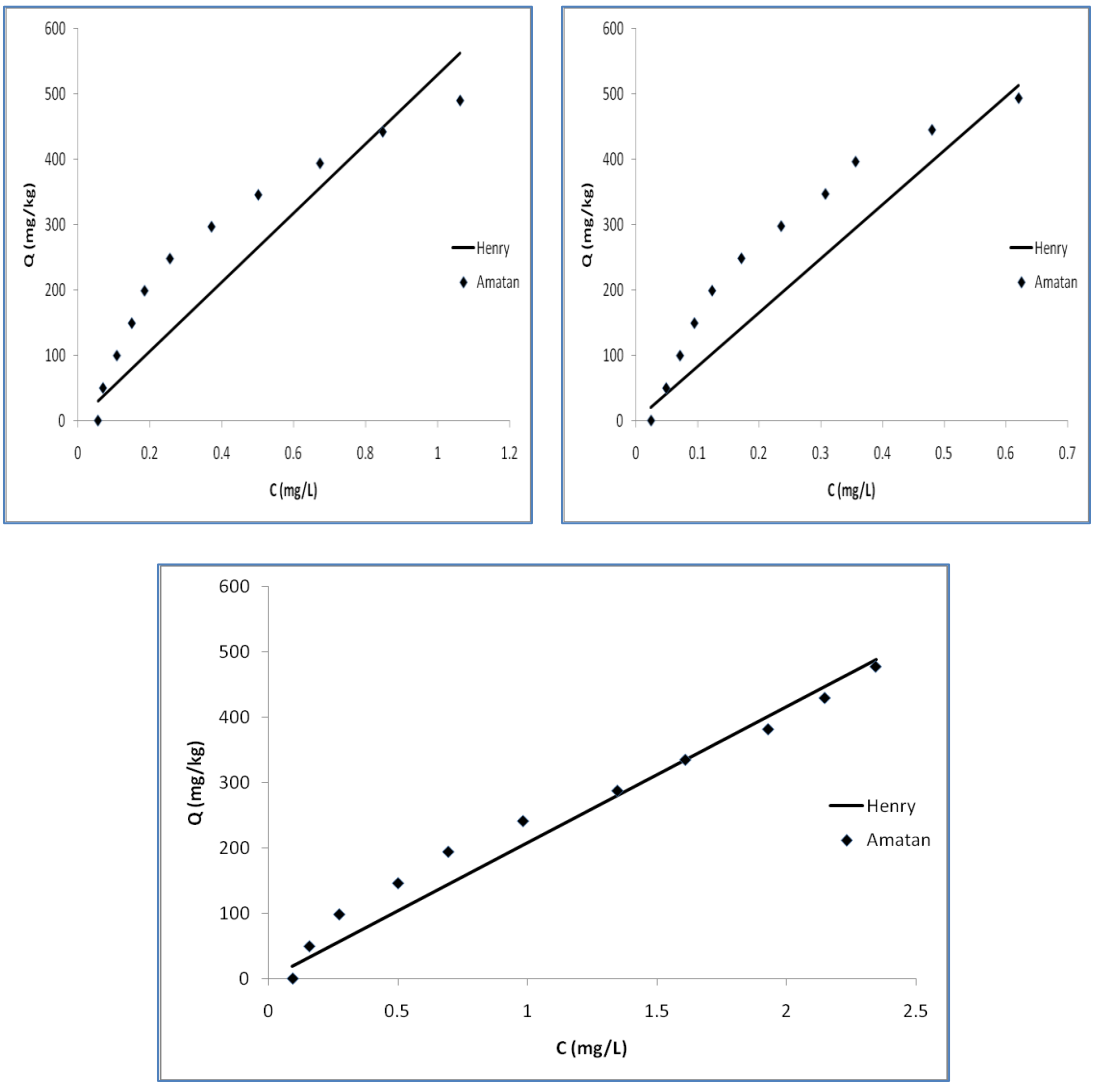
Lokasi	K_H	R^2	SSE
Kaolinitik			
Purworejo1	1066.2	0.57	1515600
Purworejo2	790.4	0.59	1536317
Simbarwaringin	7180.9	0.87	493196
Smektitik			
Demangan	529.8	0.90	387483
Kedungrejo	827.6	0.81	709304
Tirtobinangun	208.3	0.99	40456.9

Nilai R^2 menunjukkan bahwa model Henry kurang baik menggambarkan data jerapan P pada tanah kaolinitik, kecuali pada lokasi Simbarwaringin. Adapun pada tanah smektitik model ini cukup baik menggambarkan data isoterm jerapan P, khususnya pada lokasi Tirtobinangun (Tabel 1). Pemeriksaan plot model isoterm Henry menunjukkan bahwa model ini nampaknya cukup baik digunakan untuk menggambarkan isoterm jerapan P pada konsentrasi rendah, tetapi kurang baik digunakan untuk menggambarkan isoterm jerapan P pada konsentrasi tinggi (Gambar 1 dan 2). Sesuai dengan Khambhaty et al. [2] bahwa model Henry dapat diterapkan pada konsentrasi larutan rendah. Basha et al. [9] mendapatkan bahwa model Henry gagal menggambarkan isoterm jerapan Nikel (Ni) pada ganggang laut *Lobophora variegata* menggunakan konsentrasi larutan tinggi. Hal yang sama didapatkan

Khambhaty et al. [2] pada isoterm jerapan safranin pada *Aspegillus wentii* menggunakan konsentrasi larutan tinggi.



Gambar 1 Plot isoterm jerapan P model Henry pada lokasi Purworejo1, Purworejo2, dan Simbarwaringin



Gambar 2 Plot isoterm jerapan P model Henry pada lokasi Demangan, Kedungrejo dan Tirtobinangun

3.2 Model Dua Parameter

Model isoterm Langmuir pada dasarnya dikembangkan untuk jerapan gas pada suatu permukaan homogen kaca dan logam dan menduga kapasitas jerapan maksimum tunggal. Parameter K_L merupakan koefisien energi ikatan penjerap *(sorbent)* dan zat terjerap *(sorbate*). Pada konsentrasi larutan rendah akan membentuk isoterm linear mengikuti hukum

Henry. Adapun pada konsentrasi tinggi model ini menduga kapasitas jerapan maksimum (Ho *et al.*, 2002; Basha et al., 2010; Khambhaty et al., 2011).

Gambar 5 dan 6 menunjukkan plot dugaan isoterm jerapan Langmuir terhadap data pengamatan. Nilai parameter dugaan dan koefisien determinasi dapat dilihat pada Tabel 2. Model isoterm Langmuir nampaknya sangat baik menyuaikan data pengamatan isoterm jerapan P pada tanah kaolinitik dan smektitik, ditunjukkan oleh nilai R^2 relatif tinggi. Nilai R^2 bervariasi dari 0.96-0.99 (Gambar 5 dan 6 dan Tabel 2). Hasil dugaan parameter menunjukkan bahwa koefisien jerapan maksimum (Q_m) lebih tinggi pada tanah smektitik (pada status hara P sama) daripada tanah kaolinitik, namun dengan koefisien energi ikatan (K_L) lebih rendah.

Tabel 2 Dugaan parameter model Langmuir

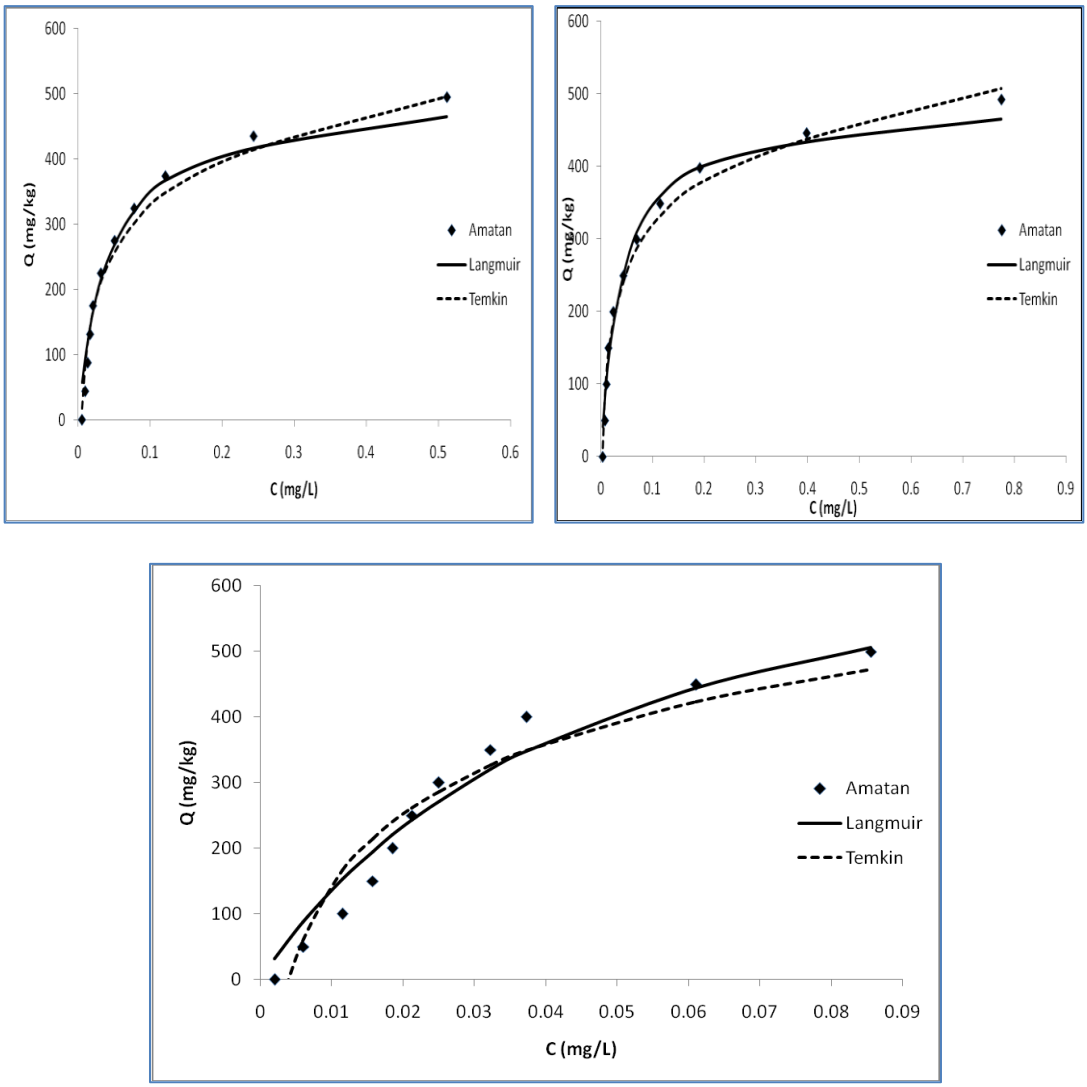
Lokasi	Q_m	K_L	R^2	SSE
Kaolinitik				
Purworejo1	535.4	21.9585	0.97	105158
Purworejo2	492.1	25.7367	0.98	61802.4
Simbarwaringin	814.2	20.1792	0.98	89014.4
Smektitik				
Demangan	698.5	1.9363	0.97	126203
Kedungrejo	673.9	3.6497	0.96	142757
Tirtobinangun	1258.3	0.2391	0.99	16720.5

Parameter model Temkin dan koefisien determinasi R^2 pada keenam lokasi dapat dilihat pada Tabel 3. Gambar 5 dan 6 menunjukkan plot dugaan isoterm jerapan Temkin terhadap data pengamatan. Nilai R^2 yang cukup tinggi (0.82-0.94) menunjukkan bahwa isoterm Tempkin cukup baik menyuaikan data isoterm P (Gambar 5 dan 6 dan Tabel 3).

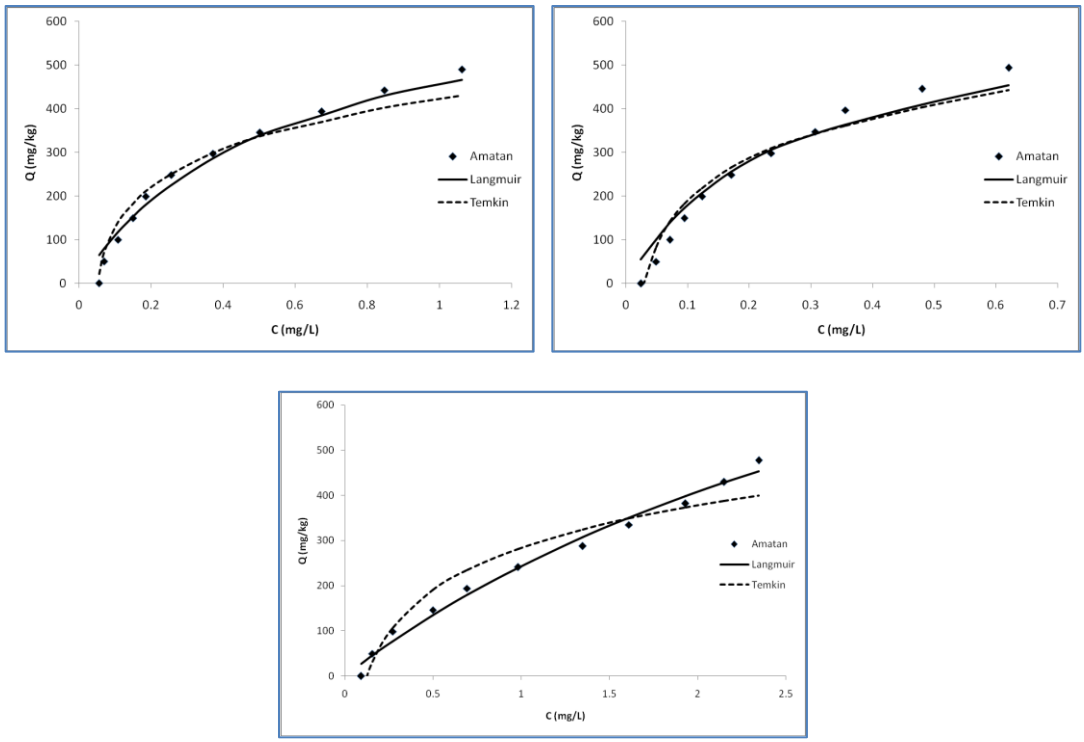
Tabel 3 Dugaan parameter model Temkin

Lokasi	K_1	K_2	R^2	SSE
Kaolinitik				
Purworejo1	598.5	110.8	0.89	119109
Purworejo2	536.9	92.23	0.94	65924.6
Simbarwaringin	858.4	154.5	0.88	121083
Smektitik				
Demangan	424.7	122.4	0.82	186606
Kedungrejo	521.4	142.6	0.86	152477
Tirtobinangun	284.4	135.6	0.92	74512.1

Dapat dikatakan bahwa model isoterm Langmuir menyuaikan data isoterm P lebih baik daripada model Temkin. Hal ini ditunjukkan nilai R^2 model Langmuir lebih tinggi daripada model Temkin, sedangkan nilai SSE model Langmuir lebih rendah daripada model Temkin.



Gambar 3 Plot isoterm jerapan P model Langmuir dan Temkin pada lokasi Puworejo1, Puworejo2 dan Simbarwaringin



Gambar 4 Plot isoterm jerapan P model Langmuir dan Temkin pada lokasi Demangan Kedungrejo Tirtobinangun

3.3. Model Tiga Parameter

Model Redlich-Peterson menggabungkan gambaran isoterm Langmuir dan Freundlich dalam satu persamaan. Pada konsentrasi rendah isoterm Redlich-Peterson mendekati hukum Henry dan pada konsentrasi tinggi gambarannya mendekati isoterm Freundlich. Persamaan ini menyerupai bentuk Langmuir pada b_R=1 dan menyerupai hukum Henry pada b_R=0.

Gambar 5 dan 6 menunjukkan plot dugaan isoterm jerapan Redlich-Peterson terhadap data pengamatan. Nilai parameter dugaan dan koefisien determinasi dapat dilihat pada Tabel 4. Model isoterm Redlich-Peterson sangat baik menyuaikan data pengamatan isoterm jerapan P pada tanah kaolinitik dan smektitik, ditunjukkan oleh nilai R^2 relatif tinggi (0.97-0.99) (Gambar 5 dan 6 dan Tabel 4). Nilai b_R berkisar dari 0.40-1.98 menunjukkan bahwa data lebih baik disuaikan dengan model Langmuir. Hal ini didukung oleh hasil percobaan bahwa model Langmuir cukup baik menyuaikan data isoterm.

Tabel 4 Dugaan parameter model Redlich Peterson

Lokasi	K_R	a_R	b_R	R^2	SSE
Kaolinitik					
Purworejo1	10064.00	20.76	1.11	0.97	98317.5
Purworejo2	13643.80	27.15	0.97	0.98	60961.8
Simbarwaringin	11977.90	134.00	1.98	0.98	57197.9
Smektitik					
Demangan	1186.10	1.59	1.21	0.97	124871
Kedungrejo	1766.90	2.96	1.65	0.97	115289
Tirtobinangun	530.90	1.21	0.40	0.99	14456.9

Plot dugaan isoterm jerapan Gunary terhadap data pengamatan dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Nilai parameter dugaan dan koefisien determinasi tercantum pada Tabel 5. Model isoterm Gunary cukup baik menyuaikan data pengamatan isoterm jerapan P pada tanah kaolinitik dan smektitik, dengan R^2 berkisar dari 0.88-0.99 (Gambar 5 dan 6 dan Tabel 5). Model isoterm Gunary sangat baik menyuaikan data pengamatan isoterm jerapan pada lokasi Tirtobinangun dengan R^2=0.99.

Tabel 5 Dugaan parameter model Gunary

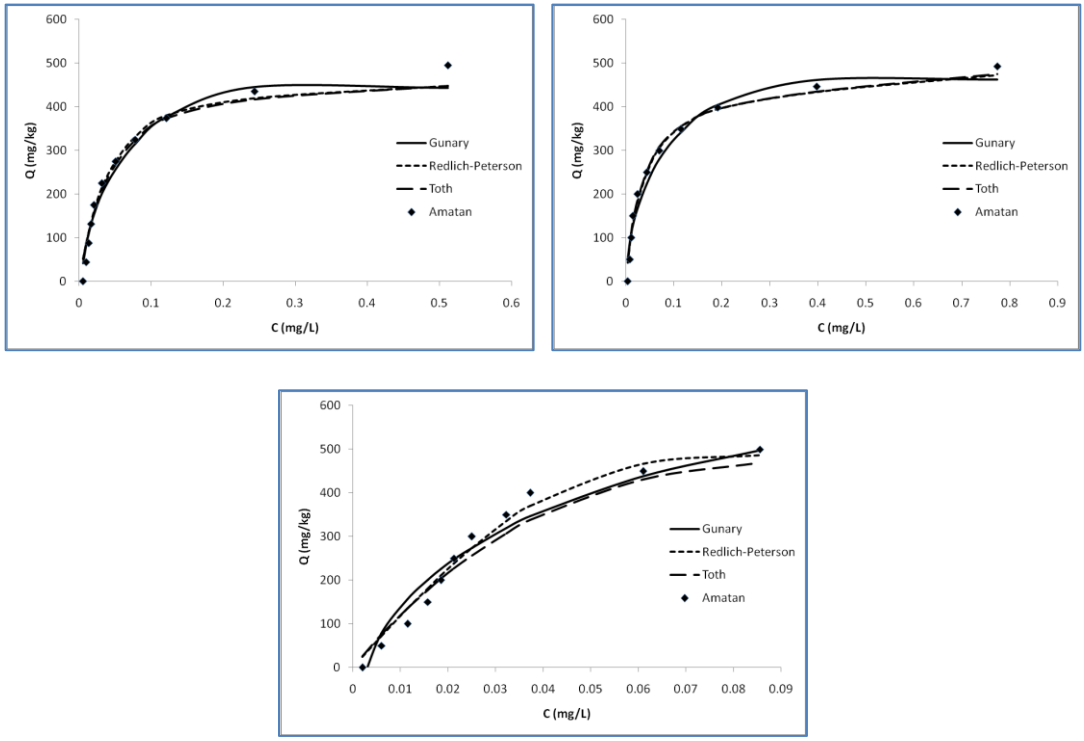
Lokasi	K_1	K_2	K_3	R^2	SSE
Kaolinitik					
Purworejo1	-93.4851	-1537.8	1949.1	0.89	125487
Purworejo2	-29.5502	-983.9	1449.8	0.91	92352.6
Simbarwaringin	-146.9	-3254.5	3187.3	0.90	109685
Smektitik					
Demangan	-104.6	-207.4	773.0	0.88	131022
Kedungrejo	-223.8	-846.9	1541.6	0.89	118905
Tirtobinangun	-56.6828	66.43	232.90	0.99	11963.5

Gambar 5 dan 6 menunjukkan plot dugaan isoterm jerapan Toth terhadap data pengamatan. Nilai parameter dugaan dan koefisien determinasi dapat dilihat pada Tabel 6. Model isoterm Toth sangat baik menyuaikan data pengamatan isoterm jerapan P pada tanah kaolinitik dan smektitik, ditunjukkan oleh nilai R^2 relatif tinggi (0.97-0.99) (Gambar 5 dan 6 dan Tabel 6). Pada lokasi Puworejo1 dan 2 serta Demangan dan Tirtobinangun penyuaian data pengamatan isoterm jerapan P dengan model Toth dan Redlich-Peterson hampir berimpitan (Gambar 5 dan 6).

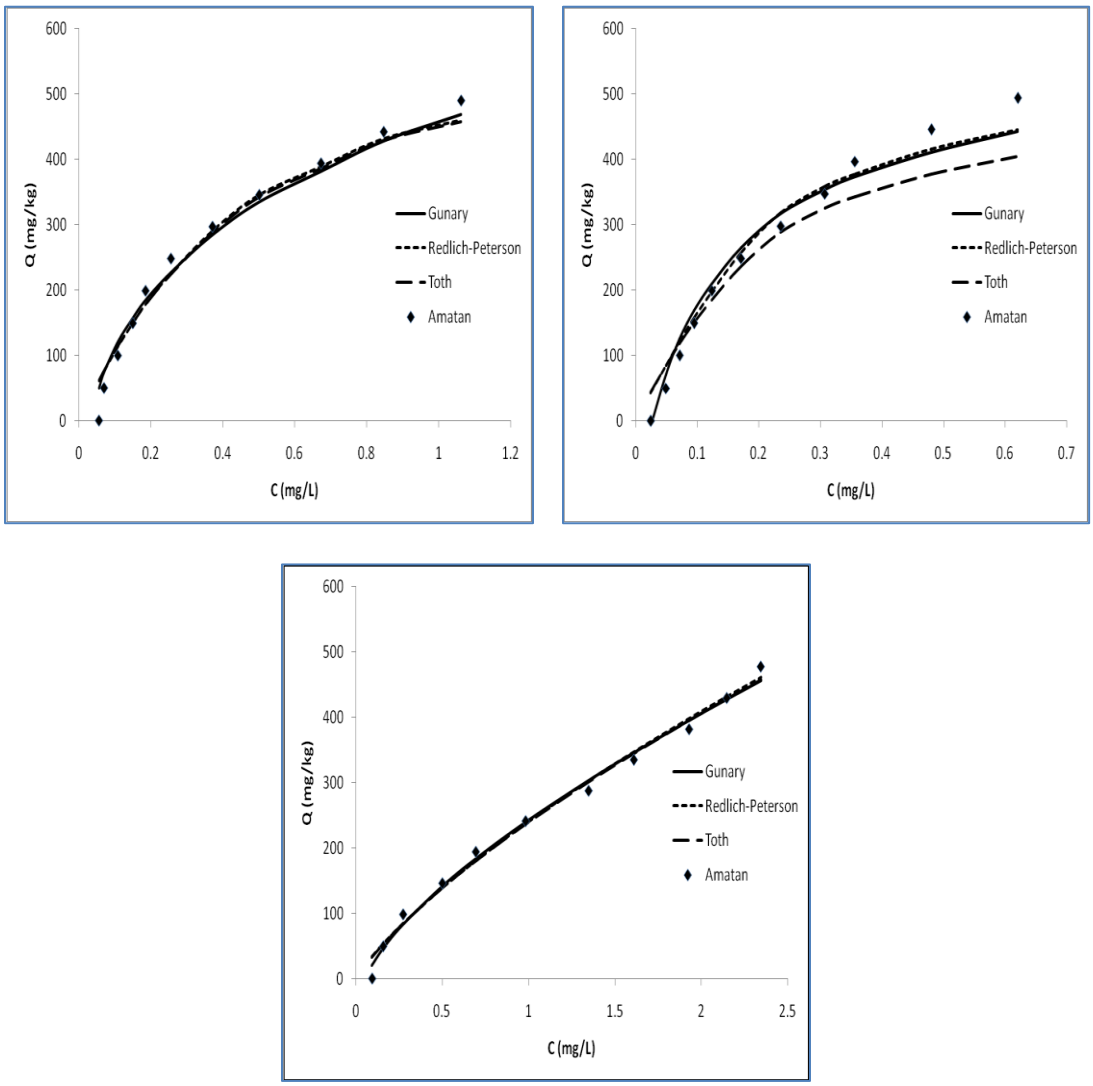
Dapat dikatakan bahwa model isoterm Redlich-Peterson menyuaikan data isoterm P lebih baik daripada model Gunary dan Toth. Secara berurutan model isoterm Redlich-Peterson > Toth > Gunary. Hal ini ditunjukkan nilai R^2 lebih tinggi dan SSE lebih rendah model isoterm Redlich-Peterson daripada model Toth dan Gunary.

Tabel 6 Dugaan parameter model Toth

Lokasi	K_t	b_t	t	R^2	SSE
Kaolinitik					
Purworejo1	502.30	0.07	0.88	0.97	100480
Purworejo2	502.30	0.03	1.05	0.98	60628.5
Simbarwaringin	3755.9	0.87	0.11	0.98	66766.00
Smektitik					
Demangan	1404.40	1.08	0.65	0.97	125207
Kedungrejo	82016.40	2.38	0.23	0.97	120976
Tirtobinangun	252.60	0.21	3.63	0.99	14053.4



Gambar 5 Plot isoterm jerapan P model Redlich-Peterson, Gunary dan Toth pada lokasi Puworejo1 Puworejo2 dan Simbarwaringin



Gambar 6 Plot isoterm jerapan P model Redlich-Peterson, Gunary dan Toth pada lokasi Demangan Kedungrejo dan Tirtobinangun

3.4. Perbandingan Model

Nilai-P perbandingan model dua parameter (Langmuir dan Temkin) dan tiga parameter (Redlich-Peterson, Gunary dan Toth) terhadap model satu parameter Henry dapat dilihat pada Tabel 7. Hasil perbandingan model menunjukkan bahwa model dua parameter (Langmuir dan Temkin) dan tiga parameter (Redlich-Peterson, Gunary dan Toth) nyata lebih

baik dari model satu parameter Henry (nilai-P < 0.001). Perkecualian terdapat pada lokasi Tirtobinangun yaitu model Temkin tidak nyata lebih baik dari model Henry.

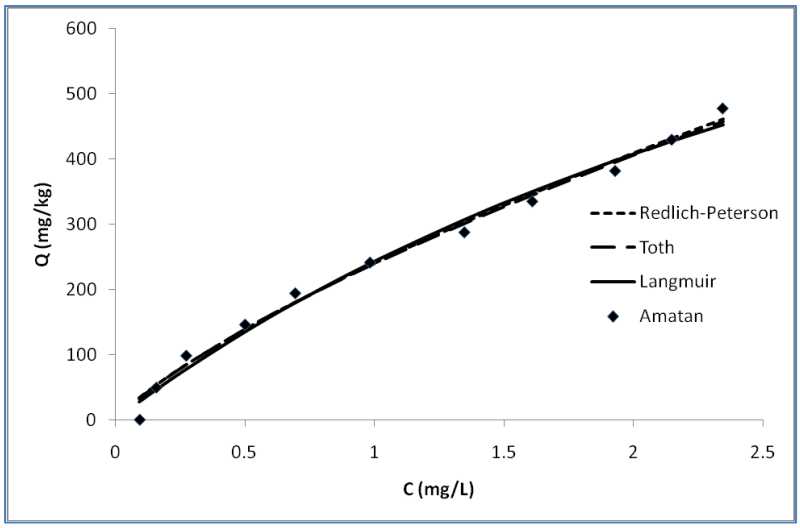
Tabel 7 Nilai SSE dan P model satu parameter Henry, dua parameter (Langmuir dan Temkin) dan tiga parameter (Redlich-Peterson, Gunary dan Toth)

Lokasi	Henry	Langmuir	Temkin	Redlich	Gunary	Toth
	SSE	P	P	P	P	P
Kaolinitik						
Purworejo1	1515600	5.88E-26	8.08E-25	4.44E-25	6.6E-23	6.93E-25
Purworejo2	1536317	6.18E-31	2.4E-30	1.87E-29	9.31E-26	1.67E-29
Simbarwaringin	493196	3.27E-17	2.17E-14	6.6E-20	4.13E-14	1.57E-18
Smektitik						
Demangan	387483	8.67E-12	3.61E-08	8.28E-11	2.22E-10	8.75E-11
Kedungrejo	709304	3.26E-16	1.31E-15	6.68E-17	1.26E-16	1.79E-16
Tirtobinangun	40456.9	1.37E-09	>0.05	6.89E-10	1.42E-11	3.86E-10

Nilai R^2, AIC dan P model Langmuir, Redlich-Peterson dan Toth terdapat pada Tabel 8. Hasil perbandingan model menunjukkan bahwa ketiga model tersebut mempunyai nilai R^2 relatif sama dan lebih tinggi dari model isoterm lainnya. Secara rata-rata nilai AIC model Redlich-Peterson lebih kecil daripada model lainnya dengan urutan Redlich-Peterson < Toth < Langmuir. Hal ini menunjukkan bahwa model Redlich-Peterson lebih baik daripada model Toth dan Langmuir. Namun demikian perbandingan nilai AIC menunjukkan bahwa model Redlich-Peterson tidak nyata lebih baik daripada model Toth dan Langmuir (nilai-P > 0.05) (Tabel 8 dan Gambar 7).

Tabel 8 Nilai R^2, AIC dan P model Langmuir, Redlich-Peterson dan Toth

Lokasi	Langmuir		Redlich-Peterson				Toth	
	R^2	AIC	R^2	AIC	P-L	P-T	R^2	AIC
Kaolinitik								
Purworejo1	0.97	348.88	0.97	348.34	0.57	0.61	0.97	349.30
Purworejo2	0.98	325.49	0.98	327.31	0.71	0.53	0.98	327.07
Simbarwaringin	0.98	341.54	0.98	324.51	0.99	0.97	0.98	331.31
Smektitik								
Demangan	0.97	356.90	0.97	358.86	0.73	0.51	0.97	358.98
Kedungrejo	0.96	362.33	0.97	355.35	0.97	0.74	0.97	357.47
Tirtobinangun	0.99	267.97	0.99	263.99	0.88	0.65	0.99	262.75



Gambar 7 Plot isoterm jerapan P model Langmuir, Redlich-Peterson, dan Toth pada lokasi Tirtobinangun

4. KESIMPULAN

Model isoterm satu parameter Henry cukup baik digunakan untuk menggambarkan isoterm jerapan P pada konsentrasi rendah, tetapi kurang baik digunakan untuk menggambarkan isoterm jerapan P pada konsentrasi tinggi.

Model dua parameter (Langmuir dan Temkin) dan tiga parameter (Redlich-Peterson, Gunary dan Toth) nyata lebih baik dari model satu parameter Henry. Model dua parameter Langmuir dan tiga parameter Redlich-Peterson dan Toth merupakan model terbaik dari model isoterm lainnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Ho Y. S. 2006. Isotherms for the Sorption of Lead onto Peat:Comparison of Linear and Non-Linear Methods. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 15, No. 1, 81-86.

[2] Khambhaty Y., K. Mody, S. Basha, and B. Jha. 2011. Equilibrium Modeling for Biosorption of Safranin onto Chemically Modified Biomass of Marine Aspergillus wentii. Water Air Soil Pollut 215:679–691.

[3] Masjkur, M. 2009. Metode Kemungkinan Maksimum EM Pendugaan Parameter Model Nonlinear Jerapan Fosfor. Prosiding Semnas Matematika dan Pendidikan Matematika FMIPA-UNY. Hal. 551-559.

[4] Masjkur, M. 2010. Algoritma Genetik Pendugaan Parameter Model Nonlinear Jerapan Fosfor. Forum Statistika dan Komputasi, Vol. 15 No. 2, Hal. 16-22.

[5] Ho Y. S., J. F. Porter and G. Mckay. 2002. Equilibrium Isotherm Studies For The Sorption Of Divalent Metal Ions Onto Peat: Copper, Nickel And Lead Single Component Systems. Water, Air, and Soil Pollution 141**:** 1–33, 2002.

[6] Reyhanitabar A., M. Ardalan, R. J. Gilkes, and G. Savaghebi. 2010. Zinc Sorption Characteristics of Some Selected Calcareous Soils of Iran. J. Agr. Sci. Tech. Vol. 12: 99-110.

[7] Bolster, C. H., G. M. Hornberger. 2007. On the Use of Linearized Langmuir Equations. Soil Sci. Soc. Am. J. 71:1796–1806.

[8] Jiao Y., W. H. Hendershot, J. K. Whalen. 2008. Modeling Phosphate Adsorption by Agricultural and Natural Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 72:1078-1084.

[9] Basha, S., S. Jaiswar, and B. Jha. 2010. On the biosorption, by brown seaweed, Lobophora variegata, of Ni(II) from aqueous solutions: equilibrium and thermodynamic studies. Biodegradation 21:661–680.

MODEL *MULTISTATE LIFE TABLE* (*MSLT*) DAN APLIKASINYA DALAM BIDANG PENDIDIKAN: STUDI KASUS DI KABUPATEN SINTANG

Sariyanto[1]; Hadi Sumarno[2]; Siswandi[2]
[1] Mahasiswa Matematika Terapan SPS IPB dan Guru MTsN Sintang
[2] Staf Pengajar Departemen Matematika FMIPA IPB
E-mail: sariyanto.sintang @gmail.com

ABSTRAK

Informasi tentang data pendidikan suatu daerah di Indonesia cenderung disajikan dalam bentuk proporsi terhadap usia, seperti APK,APM,APS dan APtS. Untuk memperoleh informasi tentang proses pendidikan, diperlukan *life table*. Dengan *life table* dapat digunakan untuk memproyeksikan jumlah peserta didik dimasa datang. Tujuan dalam penelitian ini adalah menyusun *life table* pendidikan di Kabupaten Sintang. Model *life table* yang dikembangkan dalam bidang pendidikan adalah *multistate life table.* Dari hasil kajian menunjukkan bahwa *life table* dapat diterapkan pada data pendidikan, dengan memodifikasi siswa yang tidak naik, sehingga diperoleh *multistate life table multiradix.* Dengan menggunakan data kohort siswa SD-SMA dari tahun 1999-2010 dapat disusun *life table* pendidikan di Kabupaten Sintang. Dari *life table* yang disusun, diketahui peluang siswa melanjutkan dari SD/MI ke SMP/MTs sebesar 0,68 dan dari SMP/MTs ke SMA/MA/SMK sebesar 0,82. Lama belajar di Kabupaten Sintang adalah 5,86 tahun untuk sampai tingkat SMA. Kelebihan penerapan model *multistate life table* dalam bidang pendidikan dapat memproyeksikan jumlah siswa yang bertahan, tidak naik, keluar, serta lama belajar di setiap jenjangnya. Jika selama ini data pendidikan menunjukkan akses maka dengan *life table* dapat mengukur keberhasilan proses pendidikan.

Kata-kata kunci: *Multistate life table* (MSLT), peluang transisi, lama belajar dan *life table* pendidikan di Sintang

1 PENDAHULUAN

Pendidikan merupakan indikator utama dalam pembangunan kualitas sumber daya manusia suatu bangsa. Salah satu faktor utama keberhasilan pembangunan di suatu negara adalah tersedianya cukup sumber daya manusia yang berkualitas. Salah satu upaya pemerintah dalam meningkatkan kuantitas dan kualitas pendidikan adalah menyelenggarakan pendidikan yang berkesinambungan.

Selama ini keterangan tentang pendidikan disajikan dalam bentuk proporsi, antara jumlah siswa terhadap usia seperti Angka Partisipasi Kasar (APK), Angka Partisipasi Murni (APM), Angka Putus Sekolah (APtS) dan lama sekolah. Untuk memperoleh informasi yang

akurat dan jelas tentang kelangsungan pendidikan setiap jenjangnya, salah satunya dalam *life table*.

Life table adalah tabel mengenai angka kematian menurut umur yaitu berkaitan dengan peluang bertahan hidup menurut umur. Pada mulanya *life table* secara sederhana diperkenalkan oleh John Graunt pada tahun1662 berupa tabel jumlah kematian di London, kemudian pada tahun 1691 oleh Edmund Halley *life table* kematian John Graunt ditambahkan data kelahiran dengan populasi dianggap stasioner. Tahun 1815, Milne mempublikasikan *life table* tidak hanya data kelahiran dan data kematian, namun sudah mengelompokkan berdasarkan umur sebagaimana *life table* yang kita kenal saat ini [1].

Life table pendidikan dapat mengukur peluang siswa yang bertahan atau putus sekolah, selain itu *life table* juga digunakan untuk studi perkembangan pendidikan disetiap jenjangnya, melakukan estimasi lama belajar, proyeksi jumlah peserta didik dan perubahan pendidikan di masa datang.

Life table dasar hanya menerangkan dua *state* yaitu *state* hidup dan *state* mati sehingga biasa disebut *life table unistate*, oleh Rogers (1979) diperluas menjadi *life table multistate*, hal ini didasarkan karena kompleksitasnya lebih luas untuk menganalisis tingkat transisi dan probabilitas transisi antar *state* dalam suatu populasi [2]. Penerapan *multistate life table* banyak dilakukan dalam bidang kesehatan, dengan menerangkan penyebab kematian misalnya akibat suatu penyakit.

Pada tahun 1963, Edward G. Stockwell dan Charless B. Nam telah menyusun *life table* pendidikan di Amerika Serikat dari tahun 1950-1952 dan 1957-1959. *Life table* yang mereka susun dengan cara mengelompokkan usia pendidikan dari usia 5 tahun sampai 35 tahun [3]. Namun pada kenyataannya dalam bidang pendidikan pada umumnya, kita jumpai adalah masuk (*input*), naik kelas, tidak naik kelas, lulus, tidak lulus, mengulang dan putus sekolah. Hal inilah yang tidak digambarkan oleh Edward G. Stockwell dan Charless B. Nam, oleh sebab itu perlu kajian lebih lanjut salah satunya dengan mengaplikasikan *multistate life table* dalam bidang pendidikan [3].

2 METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilaksanakan secara garis besar terbagi menjadi tiga tahap yaitu:

1 Studi literatur, yaitu pengumpulan sumber informasi dari literatur, buku dan internet tentang model *multistate life table* yang dijadikan dasar menyusun *life table* pendidikan.
2 Mengkaji model *multistate life table* yang dimodifikasi menjadi *life table* pendidikan.
3 Mengumpulkan dan menganalisa data pendidikan di Kabupaten Sintang, kemudian menyusun *life table* pendidikan dasar dan menengah di Kabupaten Sintang.

3 MODEL DAN APLIKASINYA

3.1 Model Multistate Life Table

Life table adalah tabel mengenai angka kematian menurut umur yaitu berkaitan dengan peluang bertahan hidup menurut umur [4]. *Life table* Coale-Demeny disebut juga *life table unistate* karena hanya terdapat dua kondisi yaitu bertahan hidup atau mati. Oleh sebab itu [5] melakukan perluasan dengan cara penambahan atau pengurangan penyebab kematian. Sebuah contoh penyebab kematian karena suatu penyakit, maka terjadi perubahan status individu dari sehat ke sakit, dari sakit ke mati, dari sakit menjadi sembuh dan dari sehat ke mati. Dalam model *life table unistate*, hal ini tidak dapat mengakomodasi *state* yang sakit. Karena *state* penyakit bukan sebagai *state* penyerap, sehingga dapat masuk atau keluar biasa disebut *multistate*, dalam *life table* disebut *multistate life table* (MSLT).

Titik awal dari model *life table* beranjak dari perubahan jumlah penduduk karena faktor kematian, yang dirumuskan

$$\frac{d}{dx} l(x) = -\mu(x)\, l(x) \tag{1}$$

dimana $\mu(x)$ menjelaskan perubahan kematian sesaat. Solusi dari persamaan (1) adalah

$$l(x) = l(0) exp[-\int_0^x \mu(a)\, d(a)]. \tag{2}$$

Dari (2) dapat dihitung peluang tepat pada umur x akan hidup sampai umur $(x+h)$ sebagai berikut

$$P(x) = \frac{l(x+h)}{l(x)} = \exp[-\int_x^{x+h} \mu(a)\, d(a)] \tag{3}$$

Seperti pada persamaan (1), untuk *multistate life table* dapat diperoleh dengan mengubah $l(x)$ ke dalam matriks skalar

$$\frac{d}{dx} \boldsymbol{l}(x) = -\mu(x)\, \boldsymbol{l}(x) \tag{4}$$

dimana $\boldsymbol{l}(x)$ dan $\boldsymbol{\mu}(a)$ adalah matriks skalar, yang didefinisikan

$$\boldsymbol{l}(x) = \begin{bmatrix} l_1(x) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & l_2(x) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & l_m(x) \end{bmatrix} \text{ dan } \mu(a) = \begin{bmatrix} \mu_1(a) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \mu_2(a) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \mu_m(a) \end{bmatrix}$$

Untuk kasus khusus ketika $\boldsymbol{\mu}(a)$ adalah matriks konstan pada interval $(x,x+h)$, adalah:

$$\boldsymbol{l}(x+h) = exp[-h\mathbf{M}(x)].\ \boldsymbol{l}(x) \tag{5}$$

dimana $\mathbf{M}(x)$ merupakan matriks aproksimasi dari $\boldsymbol{\mu}(a)$, sehingga $\boldsymbol{\mu}(a) = \mathbf{M}(a)$. Menentukan matriks menurut umur dari peluang transisi antar *state* $\mathbf{P}(x)=\mathbf{I}(x+h).\mathbf{I}(x)^{-1}$, dengan mengembangkan eksponensial pada persamaan (5) diperoleh :

$$\mathbf{P}(x) = \mathbf{I} - h\mathbf{M}(x) \tag{6}$$

dimana $\mathbf{I}$ adalah matriks identitas. Untuk memperbaiki aproksimasi pada persamaan (6), kedua ruas dikalikan dengan $exp[\frac{h}{2}\ \mathbf{M}(x)]$, sehingga diperoleh

$$\left[\mathbf{I} + \frac{h}{2}\mathbf{M}(x)\right]\mathbf{I}(x+h) = \left[\mathbf{I} - \frac{h}{2}\mathbf{M}(x)\right]\mathbf{l}(x) \tag{7}$$

Dari persamaan (7) kemudian diperoleh persamaan

$$\mathbf{P}(x) = \left[\mathbf{I} + \frac{h}{2}\mathbf{M}(x)\right]^{-1}\left[\mathbf{I} - \frac{h}{2}\mathbf{M}(x)\right] \tag{8}$$

Metode konstruksi ini merupakan perluasan dari *life table unistate*, sehingga dapat dikembangkan pada model *life table multistate* dengan cara memperluas matriks, oleh Rogers (1979) dalam dinyatakan dalam matriks peluang transisi $\mathbf{P}_{ij}$ (x)

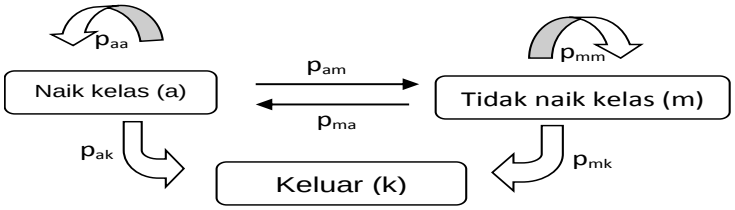
$$\mathbf{P}_{ij}(\mathrm{x}) = \begin{bmatrix} p_{11}(x) & p_{12}(x) & \cdots & p_{1m}(x) \\ p_{21}(x) & p_{22}(x) & \dots & p_{2m}(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1}(x) & p_{m2}(x) & \dots & p_{mm}(x) \end{bmatrix}$$

dengan $p_{ij}(x)$ adalah dari individu yang hidup di wilayah i pada tepat berumur x dan hidup setelah $(x+h)$ di wilayah j.

Peluang transisi antar *state* diasumsikan sebagai proses rantai Markov diskret yang ruang *state*-nya adalah gugus berhingga. Secara umum, sifat Markov dinyatakan sebagai: $P\{X_{n+1} = j \mid X_0 = i_0, \dots, X_{n-1} = i_{n-1}, X_n = i\} = Pr\{Xn+1 = j \mid Xn = i\}$, untuk semua n dan semua *state* $i_0, \dots, i_{n-1}, i, j$. Umumnya ruang *state* dari rantai Markov dinyatakan dengan bilangan bulat tak negative {0, 1, 2, ...}, kecuali jika dinyatakan selainnya, dan $X_n = i$ menyatakan X_n berada pada *state i* [6].

3.2 Memodifikasi *life table* dasar menjadi *life table* pendidikan

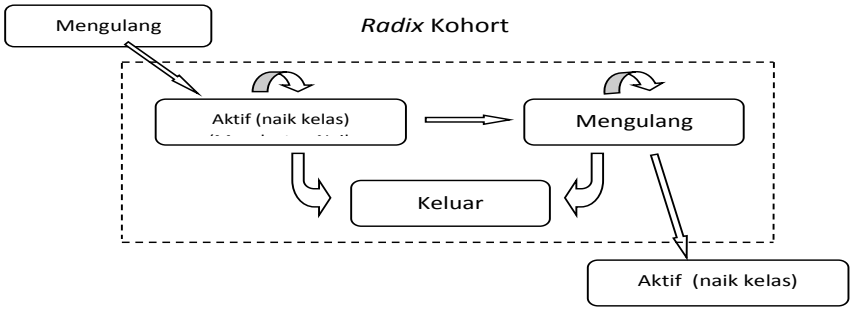
Multistate life table adalah menerangkan riwayat suatu kelompok hipotesis atau suatu kohort penduduk, berkenaan dengan riwayat kematian secara bertahap misalnya akibat suatu penyakit. Dalam bidang pendidikan penduduk didefinisikan sebagai jumlah siswa, hidup diasumsikan melanjutkan atau naik kelas, mati diasumsikan siswa keluar (*dropout*) dan penyakit dimisalkan sebagai tidak naik kelas atau mengulang, sehingga terjadi beberapa kondisi perubahan status siswa seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Proses *multistate*

Gambar 1, menunjukkan beberapa kemungkinan perubahan status, sehingga dengan peluang transisi masing-masing p_{aa} adalah peluang tetap naik kelas, p_{am} adalah peluang dari naik kelas ke tidak naik kelas, p_{ak} adalah peluang dari naik kelas ke keluar, p_{mm} adalah peluang tetap tidak naik kelas, p_{ma} adalah peluang dari tidak naik kelas ke naik kelas dan p_{mk} adalah peluang dari tidak naik kelas menjadi keluar.

Untuk kasus siswa yang mutasi masuk dan siswa keluar diasumsikan tidak mengulang kembali atau tidak ada. Sedangkan untuk kasus siswa yang tidak naik atau tidak lulus ia dapat mengulang kembali pada kelas (*state*) yang sama namun pada waktu yang berbeda dan keluar dari *radix* masuk ke *radix* yang lain (Gambar 2). Dari kasus ini maka model *multistate life table* dengan sistem *multiradix* lebih tepat digunakan pada data pendidikan.



Gambar 2 *Multistate life table multiradix* pada bidang pendidikan.

Dengan menggunakan fungsi dasar *life table* menurut [1] dan *multistate life table* [5], dapat dijadikan acuan dalam mengkonstruksi *life table* pendidikan. Selain kolom *x* yang menunjukkan kelas dari kelas I SD/MI sampai kelas XII SMA/MA/SMK , kolom-kolom lainnya adalah l_x, L_x, T_x dan $\tilde{e}_x$. Dimana kolom l_x merupakan jumlah siswa yang masih bersekolah naik kelas atau lulus pada kelas *x*, sedangkan L_x menunjukkan siswa yang bersekolah antara kelas x sampai (*x*+1). Jumlah siswa yang telah bersekolah di kelas x ditunjukkan oleh kolom T_x, sedangkan harapan tetap bersekolah atau lama sekolah di kelas x ditunjukkan oleh kolom $\tilde{e}_x$.

Banyaknya siswa pada kelas *x* terdiri dari siswa asal dan siswa pengulang. Siswa asal atau siswa baru adalah siswa yang naik kelas atau lulus dari kelas sebelumnya pada tahun *t* disimbolkan dengan ${}^{t}l_x^a$, sedangkan siswa pengulang adalah siswa yang tidak naik kelas atau tidak lulus dari kelas *x* yang sama dari tahun sebelumnya disimbolkan ${}^{(t+1)}l_x^m$, ${}^{t}l_x^m$ melambangkan banyaknya siswa yang tidak naik atau tidak lulus di kelas x pada tahun *t*, sedangkan siswa yang keluar atau berhenti di kelas *x* pada tahun *t* disimbolkan ${}^{t}l_x^k$. Untuk mengetahui jumlah siswa yang mampu bertahan dalam pendidikannya sampai kelas *x* pada tahun berikutnya adalah:

$$ {}^{(t+1)}l_{(x+1)} = {}^{t}l_x^a + {}^{t+1}l_x^m - {}^{t}l_x^m - {}^{t}l_x^k \tag{9} $$

Untuk siswa kelas I SD/MI didefinisikan ${}^{t}l_1 = {}^{t}l_0^{enrollment} + {}^{(t+1)}l_1^m$. Untuk ${}^{(t+1)}l_{(x+1)}$, setelah diketahui peluang transisi dari *state x* ke *state* (*x*+1) dapat dihubungkan antara nilai-nilai ketahanan bersekolah dengan peluang transisi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$ {}^{(t+1)}l_{(x+1)}^a = {}^{t}l_x^a . p_{aa} + {}^{t+1}l_x^m . p_{ma} - {}^{t}l_x^a . p_{am} - {}^{t}l_x^a . p_{ak} - {}^{t+1}l_x^m . p_{mm} - {}^{t+1}l_{x.}^m p_{mk} \tag{10} $$

Dimana *p* adalah peluang transisi perubahan status siswa dari naik kelas (*a*), tidak naik kelas atau mengulang (*m*) dan keluar (*k*).

Pada ruang *state* yang terbatas model diasumsikan mengandung *J (j* =1,2, ..., *j) state*, untuk *J* > 1 dan anggota bilangan bulat positif. *State* ke *J* adalah *state* penyerap, misalnya pada *state* keluar (*drop out*) dan tidak ada pengurang lainnya.

Jika *a* merupakan *state* siswa yang naik kelas, *m* adalah *state* siswa pengulang atau tidak naik kelas dan *k* adalah *state* siswa keluar atau berhenti, maka notasi matriks peluang transisi tiga langkah dari *i* ke *j* dapat dinyatakan sebagai:

$$ \mathrm{P_{ij}}(x) = \begin{bmatrix} p_{aa}(x, x+1) & p_{am}(x, x+1) & p_{ak}(x, x+1) \\ p_{ma}(x, x+1) & p_{mm}(x, x+1) & p_{mk}(x, x+1) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{11} $$

Setiap baris dalam matriks P(x) berjumlah 1. Dimana p_{aa} menunjukkan peluang transisi dari *state a* ke *state a*, p_{am} dari *state a* ke *state m*, p_{ak} dari *state a* ke *state k*, p_{ma} transisi dari *state m* ke *state a*, p_{mm} transisi dari *state m* ke *state m* dan p_{mk} transisi dari *state m* ke *state k*.

Suatu proses stokastik {S *(x): x* ≥0} di ruang *state*, pada waktu kontinu dengan parameter x menunjukkan tepat kelas yang dicapai [7]. Untuk populasi, S *(x)* menunjukkan posisi individu dalam ruang *state* pada kelas x. Informasi ini dapat diringkas dalam rangkaian peluang *state*, P{S *(x) = j}*, dimana j adalah sebuah *state* tertentu. Probabilitas transisi antara dua *state* didefinisikan sebagai:

$$\mathbf{P}_{ij}\,[x,x+1) = \Pr\{S(x+1)=j \mid S(x)=i] \tag{12}$$

dimana *pij*[x, x+1) merupakan peluang bahwa seseorang di j pada (x +1) asalkan ia atau dia di i pada x. Sehingga untuk peluang transisi dari *state* asal i ke *state j*, didefinisikan sebagai:

$$p_{ij}(x, x+1) = \frac{n_{ij}(x,x+1)}{T_{ij}(x,x+1)} \tag{13}$$

dimana, n_{ij} adalah jumlah siswa pindah dari *state* asal i ke *state* tujuan, sedangkan T_{ij} adalah total siswa yang berada dalam ruang *state*.

Untuk memisahkan siswa berdasarkan statusnya, berdasarkan (9) dan (11), untuk ${}^{t}\boldsymbol{l}_x$ = [${}^{t}l_x^a$ ${}^{t}l_x^m$ ${}^{t}l_x^k$], dimana ${}^{t}\boldsymbol{l}_x$ adalah matriks kolom, maka dapat diperoleh:

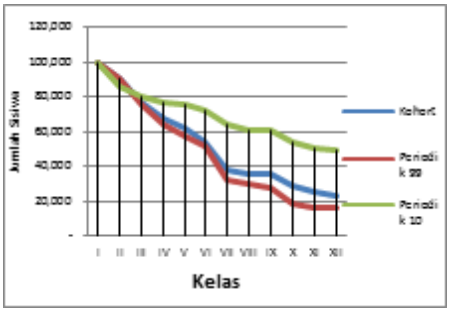
$$\begin{aligned}
{}^{(t+1)}\boldsymbol{l}_{(x+1)} &= \mathbf{P}_x \,.\, {}^{t}l_x + \mathbf{P}^*_x \,.\, {}^{t-1}l_x \\
&= \begin{bmatrix} p_{aa} & p_{ma} & p_{mk} = 0 \\ & 0 & 0 \\ p_{ak} & p_{mk} & p_{kk} = 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^{t}l_x^a \\ {}^{t}l_x^m \\ {}^{t}l_x^k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & & 0 \\ p_{am} & p_{mm} & p_{km} = 0 \\ 0 & & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^{t+1}l_x^a \\ {}^{t+1}l_x^m \\ {}^{t+1}l_x^k \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} p_{aa} \,.\, {}^{t}l_x^a + p_{ma} \,.\, {}^{t}l_x^m \\ p_{am} \,.\, {}^{t+1}l_x^a + p_{mm} \,.\, {}^{t+1}l_x^m \\ p_{ak} \,.\, {}^{t}l_x^a + p_{mk} \,.\, {}^{t}l_x^m \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{14}$$

3.3 Menyusun *Life Table* Pendidikan Kabupaten Sintang.

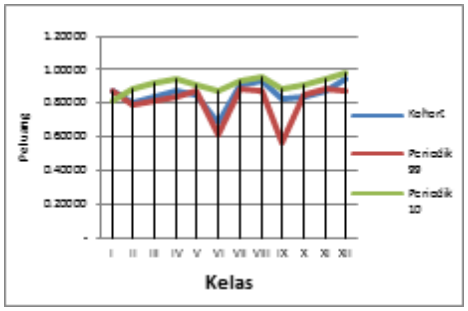
Dalam bidang pendidikan jumlah peserta didik cukup dinamis dan menarik untuk diamati dalam suatu waktu. Hal ini karena pengaruh dari masuk (*input*), naik kelas atau lulus, tidak naik kelas atau mengulang, keluar atau putus sekolah (*drop out)*, hal ini tidak dapat dijelaskan pada *life table unistate*, sehingga diperlukan *multistate life table*.

Langkah pertama dalam menyusun *multistate life table* menentukan peluang transisi dari aktif atau naik kelas (a), mengulang atau tidak naik kelas (*m*) dan keluar atau berhenti (*k*). Maka transisi yang terjadi dibatasi sebagai berikut: transisi dari *state a* ke *state a*, transisi dari *state a* ke *state m*, transisi dari *state a* ke *state k*, transisi dari *state m* ke *state a*, transisi dari *state m* ke *state m*, transisi dari *state m* ke *state k* dan *state k* , sebagai *state* penyerap.

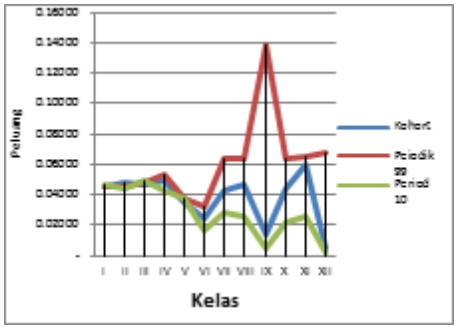
Life table pendidikan yang paling ideal apabila disusun berdasarkan data kohort. Dalam penelitian ini *life table* selain disusun dari data kohort juga disusun *life table* berdasarkan data periodik tahunan kemudian dibandingkan, *life table* periodik tahunan yang manakah yang lebih mendekati *life table* kohort (Gambar 3).



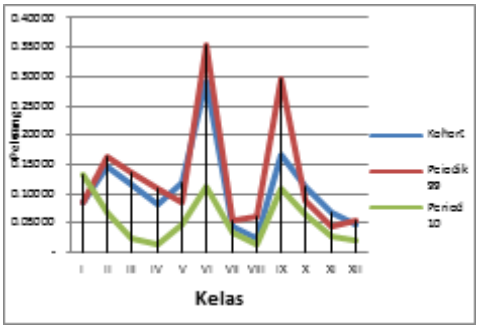
Jumlah siswa



Peluang lanjut



Peluang tidak naik atau tidak lulus



Peluang keluar atau DO

Gambar 3 Perbandingan jumlah siswa yang naik kelas, tidak naik kelas dan keluar pada *life table* pendidikan di Kabupaten Sintang

Dari Gambar 3 *life table* yang disusun dipilih *life table* tahun 1999 dan *life table* tahun 2010 dan dibandingkan dengan *life table* kohort**.** Menurut jumlah siswa pada masing-masing kelas (l_x), peluang lanjut dan peluang keluar cenderung memiliki *trend* yang sama,

kecuali untuk peluang siswa yang tidak naik kelas atau tidak lulus untuk *life table* periodik tahun 1999 *trend*-nya terbaik terutama pada jenjang pendidikan menengah.

Dari dua jenis *life table* yang disusun yaitu *life table* kohort dan *life table* periodik, maka *life table* kohortlah yang terbaik, karena dapat menggambarkan kondisi alamiah suatu populasi. Dengan demikian untuk *life table* pendidikan Kabupaten Sintang dalam penelitian ini yang dijadikan acuan dalam penelitian ini adalah *life table* menurut kohort, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1-3 berikut.

Tabel 1 Peluang siswa asal, pengulang dan peluang transisi

Kelas	**Peluang siswa asal**	**Peluang siswa pengulang**	**Peluang Transisi**					
			asal ke naik	**asal ke tdk naik**	**asal ke keluar**	**pengulang ke naik**	**pengulang ke tidak naik**	**pengulang ke keluar**
	0.95746	0.04254	0.86925	0.04542	0.08533	0.03114	0.00554	0.00586
	0,95455	0.04545	0,77308	0,04188	0,13959	0,03327	0,00592	0,00626
	0.95289	0.04711	0,80450	0,04051	0,10788	0,03449	0,00614	0,00648
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2	0,99596	0,00404	0.94385	0,00447	0,04764	0,00296	0,00053	0,00056

Dari Tabel 1, dengan asumsi 100.000 orang yang masuk SD, maka dapat diperoleh jumlah siswa yang naik kelas atau lulus, siswa yang tidak naik atau tidak lulus dan siswa yang keluar atau berhenti, sebagaimana pada Tabel 2.

Tabel 2 Jumlah siswa yang naik kelas, tidak naik dan keluar dari siswa asal dan pengulang dengan menggunakan fungsi *life table* Brown (1997) dan Siegel & Swanson (2004),

Kelas	Jumlah Siswa								
	masuk / naik kelas	**Pengulang**	**Jumlah asal& pengulang**	**asal ke naik**	**asal ke tdk naik**	**asal ke keluar**	**pengulang ke naik**	**pengulang ke tdk naik**	**pengulang ke keluar**
1	100,000	5,692	105,692	86,853	4,955	13,885	4167	741	784
2	86,853	4,007	90,860	77,731	3,537	5,585	2934	522	552
3	80,665	3,584	84,249	75,395	3,708	1,563	2624	467	493
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12	49,470	96	49,565	48,441	87	942	70	12	13

maka diperoleh jumlah siswa yang bersekolah (L_x) dari siswa asal dan siswa pengulang, siswa yang bersekolah setelah mencapai kelas x (T_x) dan lama belajar pada masing-masing kelas ($\tilde{e}_x$), sebagaimana pada Tabel 3**.**

Tabel 3 Jumlah total siswa yang naik kelas, tidak naik dan keluar dan harapan untuk tetap bersekolah

Kelas	Naik kelas / lulus	Siswa tidak naik	Siswa keluar	Peluang lanjut	Peluang tidak naik	Peluang berhenti/ keluar	L_x	T_x	$\tilde{e}_x$
1	90.787	4.744	8.912	0,86925	0,04542	0,08533	99.776	612.138	5,86098
2	85.905	4.546	13.871	0,80636	0,04780	0,14584	87.796	512.362	5,38708
3	81.620	3.754	9.204	0,83899	0,04664	0,11436	75.712	424.565	5,27517
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12	24.440	117	1.132	0,94681	0,00500	0,04819	11.743	11.743	0,50000

Untuk mengetahui peluang siswa yang dapat melanjutkan pendidikannya, peluang tidak naik dan peluang keluar pada masing-masing kelas**,** dapat dilihat pada Tabel 3. Misalkan peluang siswa dapat melanjutkan dari kelas I ke kelas II adalah 90,787, peluang melanjutkan dari jenjang SMP/MTs ke SMA/MA/SMK dikabupaten Sintang sebesar 0,8212 lebih besar jika dibandingkan peluang melanjutkan dari SD/MI ke SMP/MTs yang hanya sebesar 0,683. Jika dibandingkan dengan peluang ia dapat naik kelas maka lebih kecil, artinya hal ini terjadi karena di Kabupaten Sintang masih banyak lulusan SD/MI yang belum tertampung di SMP/MTs.

Kolom $\tilde{e}_x$ pada *life table* selain menunjukan tingkat harapan siswa tetap bersekolah dapat pula diartikan lamanya bersekolah yang akan diditempuh. Lama sekolah untuk Kabupaten Sintang adalah 5,86 tahun atau masih setingkat SD, dengan asumsi tamatan SMA/MA/SMK tidak melanjutkan ke perguruan tinggi di Sintang. Jika tahun 2010 diketahui jumlah tamatan SMA yang melanjutkan keperguruan tinggi sebanyak 1.674 orang (BPS Sintang tahun 2010) dan mengikuti kecenderungan mahasiswa di perguruan tinggi yang terjadi selama tujuh tahun di Kabupaten Sintang, maka lama sekolah diperkirakan naik menjadi 6,55 tahun, artinya masih rendah jika dibandingkan lama belajar propinsi yakni 7,8 tahun

4 KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1 Model *multistate life table* dapat diterapkan pada data pendidikan, dengan memodifikasi siswa yang tidak naik, ia keluar dari *radix*-nya kemudian masuk ke dalam yang *radix* lainnya. Dari modifikasi tersebut diperoleh *multistate life table multiradix* berikut:

$$^{(t+1)}l^{a}_{(x+1)} = {}^{t}l^{a}_{x}.p_{aa} + {}^{t+1}l^{m}_{x}.p_{ma} - {}^{t}l^{a}_{x}.p_{am} - {}^{t}l^{a}_{x}.p_{ak} - {}^{t+1}l^{m}_{x}.p_{mm} - {}^{t+1}l^{m}_{x}.p_{mk}$$

dimana $l_{(x+1)}$ adalah jumlah siswa yang dapat melanjutkan pendidikkanya dalam tahun *t*, *p* adalah peluang transisi perubahan status siswa dari naik kelas (*a*), tidak naik kelas atau mengulang (*m*) dan keluar (*k*).

2. Dari *life table* pendidikan Kabupaten Sintang, disimpulkan sebagai berikut:
   - Dengan menggunakan data pendidikan Kabupaten Sintang dari tahun 1999-2010, dapat disusun *life table* kohort dan periodik.
   - Angka melanjutkan dari melanjutkan dari SMP/MTs ke SMA/MA/SMK sebesar 0,8212 lebih besar daripada SD/MI ke SMP/MTs sebesar 0,683.
   - Lama belajar untuk Kabupaten Sintang adalah 5,86 tahun untuk sampai tingkat SMA .

4.2 Saran

1. *Life table* pendidikan Kabupaten Sintang akan lebih lengkap jika data kohort ditelusuri hingga ke tingkat perguruan tinggi.
2. *Life table* pendidikan Kabupaten Sintang dengan peluang siswa pengulang yang tidak konstan perlu di kembangkan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

[1] RL Brown, 1997. Introduction to the Mathematics of Demography (Third Edition). Winsted: Actex Publications

[2] A. Rogers, *et al*. 1979. Migration, Urbanization, and Spatial Population Dynamic. London: Westview Press

[3] EG. Stockwell, Charles B. Nam, 1963. Illustrative Tables of school Life. http://www.jstor.org/about/terms.html. [27 Desember 2010]

[4] JA. Coale, P. Demeny, 1983. Regional Model Life Tables and Stable Population (Second Edition). New York: Academic Press

[5] MS. Lynch, 2010. Multistate Life Table. New Jersey: Princeton University Press.

[6] PW. Jones, P. Smith. 2010. Stochastic Processes An Introduction (Second Edition). New York: CRC Press

[7] R. Schoen, 1988. Modelling Multigroup Population New York: Pleunum Press.

PERENCANAAN STRATEGIK RUMAH SAKIT MELALUI EFISIENSI DAN OPTIMASI PENGGUNAAN KAMAR OPERASI

M. Endro Prasetyo[1], Toni Bakhtiar[2], Farida Hanum[3]
[1,2,3]Departemen Matematika, Institut Pertanian Bogor
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
Tel./Fax: 0251-8625276, Email: tonibakhtiar@yahoo.com

ABSTRAK

Rumah sakit umumnya memiliki jumlah ruang operasi, ahli bedah, dan jam kerja terbatas sehingga dapat menyebabkan terjadinya penundaan atau pembatalan operasi terhadap pasien. Tulisan ini membahas masalah optimasi penggunaan ruang operasi dengan fungsi objektif meminimumkan biaya penalti yang disebabkan penundaan operasi, pembatalan operasi, dan kekurangan jam kerja. Masalah penjadwalan ini diformulasikan dalam bentuk pemrograman bilangan bulat campuran (*mixed integer programming*). Dengan masukan berupa data perkiraan permintaan operasi pasien (rawat inap, rawat jalan, darurat) dan banyaknya ruang operasi yang tersedia berdasarkan spesialisasi penyakit, program ini dapat memberikan beberapa informasi antara lain banyaknya penggunaan ruang operasi biasa dan darurat, serta banyaknya penundaan dan pembatalan operasi pasien rawat inap dan rawat jalan. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh rumah sakit untuk mengevaluasi ketersediaan sumberdaya yang ada. Seiring dengan peningkatan permintaan operasi pihak rumah sakit dapat melakukan perencanaan strategik berdasarkan kondisi optimal dari banyaknya ruang operasi, ahli bedah, dan jam kerja di masa yang akan datang.

Katakunci: penjadwalan ruang operasi, pemrograman bilangan bulat, perencanaan strategik

1 PENDAHULUAN

Rumah sakit merupakan suatu organisasi yang memiliki tenaga medis profesional yang terorganisir dan sarana kedokteran yang permanen menyelenggarakan pelayanan kedokteran, asuhan keperawatan yang berkesinambungan, diagnosis serta pengobatan penyakit yang diderita oleh pasien. Orang yang mendapatkan perawatan di rumah sakit mengharapkan pelayanan yang baik dan biaya perawatan yang minimum. Untuk mengurangi masa tinggal pasien di rumah sakit dan juga dipandang dari sudut kesehatan pasien, sangat ideal jika operasi dapat dilakukan sesegera mungkin begitu operasi tersebut dibutuhkan. Namun pada kenyataannya, pasien rawat inap harus menunggu beberapa waktu lagi dikarenakan adanya penundaan operasi selama beberapa hari. Pasien rawat jalan pun tidak selalu menjalani operasi sesuai dengan jadwal, sehingga secara tidak langsung memengaruhi penghitungan masa tinggal di rumah sakit. Salah satu hal yang menjadi penyebab penundaan atau

pembatalan operasi ialah, dengan jumlah ruang operasi yang terbatas, seorang pasien dalam kondisi darurat yang dianggap membutuhkan operasi sesegera mungkin, akan mendapatkan prioritas lebih daripada pasien lain yang telah menunggu selama seminggu dan telah memiliki jadwal operasi. Dalam situasi ini, penggunaan ruang operasi secara efisien dan optimal mutlak diperlukan. Pemodelan secara matematik merupakan pendekatan yang tepat dalam menyelesaikan masalah ini.

Tulisan ini membahas masalah penjadwalan penggunaan ruang opersi dalam bentuk pemrograman bilangan bulat campuran. Tujuan dari masalah pengoptimuman ini ialah mengalokasikan sejumlah permintaan operasi ke ruang-ruang operasi yang tersedia berdasarkan jenis pasien dan spesialisasi penyakit serta meminimumkan biaya penalti yang disebabkan penundaan operasi, pembatalan operasi, dan kekurangan jam kerja. Zhang *et al*. [1] yang menjadi rujukan utama tulisan ini membahas masalah yang sama dengan penekanan pada analisis sensitivitas terhadap parameter biaya penalti akibat terbatasnya jam kerja suatu ruang operasi. Tulisan ini lebih berfokus pada eksplorasi berbagai informasi yang dapat digali dan dimanfaatkan dalam perencanaan strategik rumah sakit, seperti: (i) jadwal pelaksanaan operasi di ruang operasi darurat dan biasa, (ii) lama waktu pelaksanaan, penundaan, dan pembatalan operasi berdasarkan jenis pasien dan spesialisasi penyakit, (iii) jadwal kosong (*idle time*) ruang operasi, dan (iv) besarnya biaya penalti. Tulisan lain tentang topik yang sama ialah Blake & Donald [2] yang membahas masalah penjadwalan ruang operasi dengan data permintaan aktual.

3 MODEL PENJADWALAN

Di banyak rumah sakit, perencanaan dan penjadwalan operasi dilaksanakan sebagai berikut. Setiap minggu atau bulan, bagian perencanaan operasi atau badan lain yang dibentuk oleh rumah sakit mengeluarkan jadwal penggunaan ruang operasi, atau juga disebut sebagai *block time schedule*, yang mengalokasikan penggunaan ruang operasi untuk operasi darurat dan biasa. Satu blok waktu setara dengan satu hari kerja seorang staf ruang operasi. Setiap hari dokter akan menentukan pasien rawat inap yang akan menjalani operasi pada hari berikutnya. Ketika membuat keputusan ini, mereka juga akan melihat jadwal operasi pasien rawat jalan untuk hari berikutnya karena hal ini telah dijadwalkan pada beberapa hari sebelumnya. Selain itu mereka juga mempertimbangkan banyaknya kamar yang secara khusus dialokasikan pada hari itu sesuai dengan urutan dan juga tingkat prioritas permintaan

operasi dari pasien rawat inap. Biasanya jumlah ruang operasi yang dialokasikan untuk pasien rawat jalan lebih sedikit daripada pasien rawat inap. Selama hari kerja, ahli bedah akan berusaha untuk melaksanakan operasi sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Selain itu, permintaan operasi darurat muncul hampir setiap hari dan ahli bedah akan berusaha melakukan operasi pada pasien darurat tersebut karena berada pada keadaan yang kritis. Biasanya pasien darurat akan dikirim ke ruang operasi darurat selama ruang operasi masih tersedia. Jika saat diperlukan ruang operasi darurat sudah penuh, maka pasien darurat tersebut akan dibawa ke salah satu ruang operasi biasa di mana operasi akan dilakukan. Akibatnya, beberapa jadwal operasi pasien rawat inap dan rawat jalan mungkin harus ditunda atau dijadwalkan ulang.

2.1 NOTASI

Dalam memodelkan jadwal penggunaan ruang operasi didefinisikan notasi-notasi berikut: I adalah himpunan jenis ruang operasi biasa berdasarkan perbedaan lokasi dan peralatan yang tersedia, J adalah himpunan spesialisasi penyakit, D adalah himpunan hari kerja, $i \in I$ menyatakan indeks jenis ruang operasi biasa, $j \in J$ menyatakan indeks spesialisasi penyakit, $k, l \in D$ menyatakan indeks hari, s menyatakan banyaknya jam kerja per hari, a_i menyatakan banyaknya ruang operasi biasa jenis i, e_{jk}, n_{jk}, dan o_{jk} berturut-turut menunjukkan lama waktu permintaan operasi pasien darurat, pasien rawat inap, dan pasien rawat jalan dengan spesialisasi penyakit j pada hari k (dalam jam), c_{jk} menyatakan jumlah maksimum ruang operasi biasa dengan spesialisasi penyakit j yang dapat digunakan pada hari k, ρ_{kl} dan λ_{kl} berturut-turut adalah besarnya biaya penalti karena penundaan operasi pasien rawat inap dan rawat jalan dari hari k sampai hari l (dalam rupiah/jam), θ_{IPT} dan θ_{OPT} berturut-turut menyatakan besarnya biaya penalti karena pembatalan operasi bagi pasien rawat inap dan rawat jalan (dalam rupiah/jam), dan β menyatakan besarnya biaya penalti karena jam kerja suatu ruang operasi tidak mencukupi permintaan operasi (dalam rupiah/jam).

2.2 ASUMSI

Asumsi-asumsi yang diperlukan dalam memodelkan masalah penjadwalan ruang operasi adalah sebagai berikut:

1. Satu periode penjadwalan ialah satu minggu dengan pola pelaksanaan operasi pada minggu berikutnya sama dengan minggu-minggu sebelumnya.
2. Dalam seminggu ada hari kerja (Senin s.d. Jumat), dan tidak ada kerja lembur.
3. Biaya penalti penundaan operasi pasien rawat inap dan rawat jalan adalah sebesar 1 rupiah per jam. Jika operasi ditunda lebih dari satu minggu, maka operasi tersebut dibatalkan. Pembatalan operasi ini bukan berarti operasi tidak jadi dilaksanakan, akan tetapi operasi dapat dilaksanakan di luar hari kerja (lembur) atau pasien akan dirujuk ke rumah sakit lain untuk menjalani operasi tersebut.
4. Permintaan penggunaan ruang operasi diukur dengan lama penggunaan ruang operasi dalam satuan jam.
5. Penundaan pelaksanaan operasi pasien rawat jalan juga dikenakan biaya penalti sebesar pada kasus pasien rawat inap.
6. Semua pelaksanaan operasi darurat harus dilaksanakan pada hari operasi tersebut diperlukan dan operasi biasa atau operasi bagi pasien rawat jalan dan rawat inap dapat ditunda.
7. Setiap operasi terhadap pasien biasa (pasien rawat inap dan rawat jalan) hanya dilaksanakan di ruang operasi biasa dan setiap operasi terhadap pasien darurat dapat dilaksanakan di ruang operasi biasa dan ruang operasi darurat.
8. Setiap operasi dengan spesialisasi penyakit tertentu dilaksanakan di ruang operasi yang sesuai dengan spesialisasinya.

2.3 VARIABEL, FUNGSI OBJEKTIF, DAN FUNGSI KENDALA

Dalam model ini, didefinisikan variabel-variabel keputusan berikut: x_{ijk} adalah banyaknya ruang operasi jenis i yang dialokasikan untuk spesialisasi penyakit j pada hari k (unit), y_{jk} adalah lama waktu pelaksanaan operasi darurat spesialisasi penyakit j yang harus dilakukan di ruang operasi darurat pada hari k (jam), z_{jkl} dan w_{jkl} berturut-turut adalah lama waktu pelaksanaan operasi pasien rawat inap dan rawat jalan pada spesialisasi penyakit j yang ditunda dari hari k ke hari l (jam), u_{jk} dan v_{jk} berturut-turut adalah lama waktu operasi pasien rawat inap dan rawat jalan pada spesialisasi penyakit j pada hari k yang dibatalkan (jam), b_{jk} menyatakan lama waktu kosong (*idle time*) ruang operasi biasa pada spesialisasi

penyakit j pada hari k (jam), h adalah total lama waktu kosong ruang operasi biasa (jam), p_j dan q_j berturut-turut menyatakan kelebihan dan kekurangan jam kerja pada spesialisasi penyakit j (jam).

Fungsi objektif dalam masalah ini adalah meminimumkan biaya penalti yang disebabkan oleh penundaan dan pembatalan operasi serta biaya penalti yang disebabkan jam operasional ruang operasi yang tidak mencukupi permintaan operasi. Fungsi objektif tersebut dituliskan sebagai berikut:

$$\min z := \sum_{i=1}^{5} z_i;$$

dengan $z_1 = \sum_{k\epsilon D} \sum_{l\epsilon D} \left(\rho_{kl} \sum_{j\epsilon J} z_{jkl}\right)$, $z_2 = \sum_{k\in D} \sum_{l\in D} \left(\lambda_{kl} \sum_{j\epsilon J} w_{jkl}\right)$, $z_3 = \theta_{IPT} \sum_{j\epsilon J} \sum_{k\epsilon D} u_{jk}$, $z_4 = \theta_{OPT} \sum_{j\epsilon J} \sum_{k\epsilon D} v_{jk}$, dan $z_5 = \beta \sum_{j\epsilon J} q_j$. Fungsi objektif di atas mengandung lima jenis biaya penalti, yaitu z_1 dan z_2 adalah biaya penalti karena penundaan operasi bagi pasien rawat inap dan rawat jalan, z_3 dan z_4, menyatakan biaya penalti yang diakibatkan pembatalan operasi pasien rawat inap dan rawat, serta z_5 merupakan biaya penalti yang disebabkan oleh kekurangan jam penggunaan setiap ruang operasi biasa.

Fungsi-fungsi kendala dalam model ini ialah sebagai berikut:

1. Jumlah penggunaan ruang operasi jenis i untuk melayani operasi dengan spesialisasi penyakit j pada hari k tidak lebih besar dari banyaknya ruang operasi yang tersedia:

$$\sum_{j\in J} x_{ijk} \leq a_i, \quad \forall j, k.$$

2. Banyaknya ruang operasi jenis i yang digunakan untuk spesialisasi penyakit j pada hari k tidak lebih dari jumlah maksimum ruang operasi yang dialokasikan untuk melayani operasi dengan spesialisasi penyakit j pada hari k:

$$\sum_{i\in I} x_{ijk} \leq c_{jk}, \quad \forall\, j, k.$$

3. Banyaknya permintaan operasi darurat dengan spesialisasi penyakit j pada hari k yang dilaksanakan di ruang operasi darurat tidak melebihi dari seluruh permintaan operasi darurat pada hari tersebut:

$$y_{jk} \leq e_{jk}, \quad \forall\, j, k.$$

4. Pelaksanaan operasi di ruang operasi biasa untuk melayani spesialisasi penyakit j pada hari k tidak melebihi kapasitas waktu yang ada:

$$s\sum_{i\in I} x_{ijk} \geq e_{jk} - y_{jk} + \sum_{l\epsilon D}(z_{jlk} + w_{jlk}), \quad \forall j,k.$$

5. Pelaksanaan operasi biasa pada spesialisasi penyakit j hari k harus dilaksanakan pada hari tersebut atau ditunda pada hari kerja yang tidak lebih dari tujuh hari atau jika penundaan lebih dari tujuh hari maka operasi tersebut dibatalkan:

$$s\sum_{i\in I} x_{ijk} - \left(e_{jk} - y_{jk} + \sum_{l\epsilon D}(z_{jlk} + w_{jlk})\right) - b_{jk} + \sum_{l\epsilon D}(z_{jkl} + w_{jkl}) + (u_{jk} + v_{jk}) = n_{jk} + o_{jk}, \quad \forall j,k.$$

6. Jumlah pelaksanaan operasi spesialisasi penyakit j bagi pasien rawat inap dan rawat jalan yang ditunda dari hari k ke hari l, tidak lebih besar dari permintaan operasi dengan spesialisasi penyakit j bagi pasien rawat inap pada hari k:

$$\sum_{l\in D} z_{jkl} \leq n_{jk}, \quad \forall j,k.$$

$$\sum_{l\in D} w_{jkl} \leq o_{jk}, \quad \forall j,k.$$

7. Jumlah pembatalan operasi pasien rawat inap dan rawat jalan dengan spesialisasi penyakit j pada hari k tidak lebih dari total permintaan operasi pasien rawat inap pada hari k:

$$u_{jk} \leq n_{jk}, \quad \forall j,k.$$

$$v_{jk} \leq o_{jk}, \quad \forall j,k.$$

8. Pendefinisian h sebagai total banyaknya waktu kosong ruang operasi biasa selama satu minggu:

$$h = \sum_{j\in J}\sum_{k\in D} b_{jk}.$$

9. Pendefinisian p_j dan q_j yang masing-masing merupakan kelebihan dan kekurangan waktu penggunaan ruang operasi biasa. Diberikan jumlah total jam kosong penggunaan ruang operasi biasa dalam satu minggu kemudian membagi dengan proporsi penggunaan ruang operasi spesialisasi penyakit tertentu dan penggunaan ruang operasi seluruh spesialisasi penyakit selama satu minggu:

$$\sum_{k\in D} b_{jk} - \frac{h\sum_{k\epsilon D}(n_{jk}+o_{jk})}{\sum_{j\epsilon J}\sum_{k\epsilon D}(n_{jk}+o_{jk})} = p_j - q_j, \quad \forall j.$$

10. Operasi darurat dilaksanakan di ruang operasi darurat selama s jam kerja per hari:

$$\sum_{j \in J} y_{jk} \leq s, \quad \forall\, k.$$

11. Kendala ketaknegatifan untuk semua variabel keputusan:

$$x_{ijk}, y_{jk}, z_{jkl}, w_{jkl}, u_{jk}, v_{jk}, b_{jk}, h, p_j, q_j \geq 0, \quad \forall\, i, j, k, l.$$

12. Pendefinisian variabel x_{ijk} sebagai suatu bilangan bulat.

3 STUDI KASUS

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang masalah penjadwalan ini, ditinjau suatu rumah sakit umum yang memiliki beberapa layanan spesialisasi penyakit, yaitu bedah perkemihan (urologi), bedah tulang (ortopedi), bedah tulang belakang, otak dan syaraf, luka bakar, bedah plastik, tumor, dan kanker (Tabel 1). Rumah sakit diasumsikan memiliki 1 ruang operasi darurat dan 8 ruang operasi biasa (Tabel 1). Operasi ortopedi dan tulang belakang diasumsikan dapat dilakukan di ruang yang sama. Demikian juga dengan luka bakar dan bedah plastik, serta tumor dan kanker.

Data lain yang diperlukan dalam studi kasus ini ialah data perkiraan permintaan operasi pasien rawat inap, rawat jalan, dan darurat selama satu minggu ke depan. Data ini dapat diperoleh melalui peramalan dari data deret waktu permintaan operasi. Data pada Tabel 2 hanyalah merupakan data hipotetik. Selanjutnya diasumsikan bahwa lama jam kerja ialah 8 jam/hari sehingga setiap kamar operasi dapat digunakan selama waktu tersebut. Pada kasus ini biaya penalti pembatalan operasi pasien rawat inap sama dengan biaya penalti pasien rawat jalan yaitu $\theta_{IPT} = \theta_{OPT} = 14$. Nilai parameter biaya penalti yang disebabkan oleh adanya kekurangan jam penggunaan ruang operasi ialah $\beta = 1$.

Tabel 1 Spesialisasi penyakit beserta ketersediaan ahli bedah dan kamar operasi

Spesialisasi Penyakit (j)	**Jumlah Ahli bedah**	**Jumlah Kamar Operasi Biasa**	**Kode Kamar**
Urologi	3	1	ND A
Ortopedi	3	2	ND B1, ND B2
Tulang belakang	3		
Otak dan syaraf	4	1	ND C
Luka bakar	2	2	ND D1, ND D2
Bedah plastik	2		
Tumor	3	2	ND E1, ND E2
Kanker	3		

Tabel 2 Permintaan pelaksanaan operasi selama satu minggu ke depan

Jenis pasien	Hari (k)	Spesialisasi penyakit (j)							
		Urologi	**Ortopedi**	**Tulang belakang**	**Otak dan syaraf**	**Luka bakar**	**Bedah plastik**	**Tumor**	**Kanker**
Pasien rawat inap (n_{jk})	Senin	0	2.4	2.8	3.7	4.6	5.2	7.2	8
	Selasa	3.9	0	0	2.9	5	2.8	5	6.2
	Rabu	3.9	5.4	4.8	3.4	5.2	0	0	0
	Kamis	7.2	6.3	4.3	5.2	4.1	3.8	6.2	7.4
	Jumat	2.3	4.5	3.2	5.7	4.8	2.3	0	0
Pasien rawat jalan (o_{jk})	Senin	3.4	3.8	2.9	3.2	0	0	0	0
	Selasa	3.1	0	2.8	3.1	2.9	4.1	0	0
	Rabu	3.2	2.1	2	3.2	0	0	0	0
	Kamis	0	0	3.2	0	4.2	3.1	0	0
	Jumat	4.2	3.1	0	0	3.2	2.2	0	0
Pasien darurat (e_{jk})	Senin	4.7	6.2	4.8	5	8.2	0	5.2	4.5
	Selasa	5.2	7.1	2.6	4.5	7.2	4.8	3.7	0
	Rabu	3.2	5.8	4.2	3.8	5.2	4.9	4.2	0
	Kamis	4.2	0	3.8	6.4	2.3	0	4.9	0
	Jumat	0	3.8	4	5	6.2	2.9	0	0
Total		**48.5**	**50.5**	**45.4**	**55.1**	**63.1**	**36.1**	**36.4**	**26.1**

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Model penjadwalan ruang operasi dalam kasus ini diselesaikan berdasarkan metode *branch-and-bound* menggunakan peranti lunak Lingo 11. Bebarapa informasi yang dapat diperoleh dari model ini di antaranya ialah jadwal penggunaan ruang operasi biasa dan darurat, banyaknya penundaan dan pembatalan permintaan operasi, dan waktu kosong ruang operasi.

Tabel 3 menyajikan jadwal pelaksanaan operasi darurat di ruang operasi darurat. Tabel tersebut memperlihatkan permintaan operasi darurat dengan spesialisasi penyakit otak dan syaraf paling banyak ditangani yaitu 15.1 jam atau 10.17% dari total permintaan. Operasi darurat yang tidak dapat dilayani di ruang operasi darurat akan dialihkan pelaksanaannya di ruang operasi biasa. Pelaksanaan operasi darurat di ruang operasi biasa disajikan pada Tabel 4. Tentu saja hal ini menyebabkan penundaan dan pembatalan operasi pasien rawat inap dan rawat jalan yang pada akhirnya menyebabkan peningkatan biaya. Pelaksanaan operasi bagi

seluruh pasien (darurat, rawat inap, rawat jalan) di kamar operasi biasa disajikan pada Tabel 5.

Tabel 3 Pelaksanaan operasi di ruang operasi darurat (jam)

Hari (k)	**Spesialisasi penyakit** (j)							
	Urologi	**Ortopedi**	**Tulang belakang**	**Otak dan syaraf**	**Luka bakar**	**Bedah plastik**	**Tumor**	**Kanker**
Senin	0.1	3.5	0	3.9	0.5	0	0	0
Selasa	0.7	0	0	2.5	0	4.8	0	0
Rabu	0	3.6	2	2.4	0	0	0	0
Kamis	1.2	0	2.4	3.6	0.8	0	0	0
Jumat	0	2.4	0	2.7	0	2.9	0	0

Tabel 4 Pelaksanaan operasi pasien darurat di ruang operasi biasa (jam)

Hari (k)	**Spesialisasi penyakit** (j)							
	Urologi	**Ortopedi**	**Tulang belakang**	**Otak dan syaraf**	**Luka bakar**	**Bedah plastik**	**Tumor**	**Kanker**
Senin	4.6	2.7	4.8	1.1	7.7	0	5.2	4.5
Selasa	4.5	7.1	2.6	2	7.2	0	3.7	0
Rabu	3.2	2.2	2.2	1.4	5.2	4.9	4.2	0
Kamis	3	0	1.4	2.8	1.5	0	4.9	0
Jumat	0	1.4	4	2.3	6.2	0	0	0

Tabel 5 Pelaksanaan operasi seluruh pasien di ruang operasi biasa (jam)

Spesialisasi penyakit	Kode ruang operasi	Jenis pasien	Hari				
			Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
Urologi	ND A	Rawat inap	0	0.4	3.9	5	3.8
		Rawat jalan	3.4	3.1	0.9	0	4.2
		Darurat	4.6	4.5	3.2	3	0
	Total		8	8	8	8	8
Ortopedi	ND B1	Rawat inap	2.4	0	3.7	8	4.5
		Rawat jalan	2.9	0.9	2.1	0	2.1
		Darurat	2.7	7.1	2.2	0	1.4
	Total		8	8	8	8	8
Tulang belakang	ND B2	Rawat inap	0.3	2.5	4.8	3.4	4
		Rawat jalan	2.9	2.8	1	3.2	0
		Darurat	4.8	2.6	2.2	1.4	4
	Total		8	7.9	8	8	8
Otak dan syaraf	ND C	Rawat inap	3.7	2.9	3.4	5.2	5.7
		Rawat jalan	3.2	3.1	3.2	0	0
		Darurat	1.1	2	1.4	2.8	2.3
	Total		8	8	8	8	8
Luka bakar	ND D1 dan ND D2	Rawat inap	0.3	5.9	2.8	2.3	6.6
		Rawat jalan	0	2.9	0	4.2	3.2
		Darurat	7.7	7.2	5.2	1.5	6.2
	Total		8	16	8	8	16
Bedah plastik	ND D2	Rawat inap	5.2	0	1.7	4.9	0
		Rawat jalan	0	0	1.4	3.1	0
		Darurat	0	0	4.9	0	0
	Total		5.2	0	8	8	0
Tumor	ND E1	Rawat inap	2.8	4.3	3.8	3.1	4.4
		Rawat jalan	0	0	0	0	0
		Darurat	5.2	3.7	4.2	4.9	0
	Total		8	8	8	8	4.4
Kanker	ND E2	Rawat inap	3.5	8	2.7	7.4	0
		Rawat jalan	0	0	0	0	0
		Darurat	4.5	0	0	0	0
	Total		8	8	2.7	7.4	0

Dari Tabel 5 dapat dilihat lama penggunaan ruang operasi ND B2 pada hari Selasa adalah 7.9 jam dan waktu yang tersedia 8 jam, sehingga terdapat waktu kosong 0.1 jam. Ruang ND D1 memiliki waktu kosong pada Senin selama 2.8 jam, ruang ND E1 pada Jumat selama 3.6 jam, dan ruang ND E2 pada Rabu dan Kamis masing-masing selama 5.3 dan 0.6 jam.

Dari sisi besarnya biaya penalti diketahui bahwa pembatalan operasi pasien rawat inap menyumbangkan biaya penalti paling besar sedangkan penundaan operasi pasien rawat jalan memberikan biaya penalti paling kecil.

5 SIMPULAN

Dari contoh kasus di atas dapat disimpulkan bahwa penjadwalan ruang operasi dengan pendekatan pemrograman matematika menawarkan penyelesaian masalah alokasi ruang operasi secara efisien dan optimal. Aspek efisiensi dapat diukur dengan lebih banyaknya operasi yang mungkin dapat dilayani selama jam kerja, sedangkan aspek optimasi ditunjukkan dengan ditekannya biaya penalti akibat penundaan dan pembatalan operasi serta akibat terbatasnya jam kerja.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Zhang B, P Murali, MM Dessouki, dan D Belson. 2009. A mixed integer programming for allocating operating room capacity. *Journal of the Operational Research Society*, **60**: 663-673.

[2] Blake JT dan J Donald. 2002. Mount Sinai Hospital uses integer programming to allocate operating room time. *Interfaces*, **32**(2): 63-73.

OPTIMASI PORTOFOLIO OBLIGASI YANG TERIMUNISASI YANG DENGAN GOAL PROGRAMMING.

Ayu Meryanti Galmayura [1], Farida Hanum [2], Endar H. Nugrahani [3]
[1]Departemen Matematika IPB, Bogor
[2]Departemen Matematika IPB, Bogor [2]
[3]Departemen Matematika IPB, Bogor [3]

ABSTRAK

Dalam suatu istilah investasi, portofolio didefinisikan sebagai suatu kumpulan investasi, baik berupa aset riil maupun aset keuangan. Portofolio dapat tersusun dari berbagai jenis sekuritas baik obligasi maupun saham. Obligasi dianggap sebagai jenis sekuritas yang memiliki risiko yang lebih kecil daripada saham. Berdasarkan jenisnya, obligasi dibagi menjadi dua macam yaitu: obligasi pemerintah dan obligasi swasta. Risiko obligasi diperoleh dari risiko tingkat suku bunga yang berubah-ubah,waktu jatuh tempo dan risiko gagal bayar (*default risk*) yang ada pada setiap obligasi. Risiko-risiko tersebut memengaruhi harga obligasi, sehingga harga portofolio yang dimiliki investor juga akan berubah-ubah. Dalam hal ini, investor tetap mengharapkan tingkat pengembalian yang sama atau lebih besar dari harga beli obligasinya. Oleh sebab itu, muncul konsep imunisasi yang akan mengimunisasi tingkat risiko pada portofolio yang disusun dari berbagai jenis obligasi. Dalam mengelola portofolio obligasi yang terimunisasi timbul permasalahan yang harus dihadapi, yakni meminimumkan risiko-risiko yang ada pada obligasi yang akan memengaruhi tingkat pengembalian yang diperoleh investor di masa datang. Permasalahan optimasi portofolio obligasi yang terimunisasi dapat diselesaikan dengan *goal programming* sebagai salah satu teknik alternatif untuk mencari portofolio obligasi terimunisasi yang optimal. Hasil yang diperoleh dari optimasi ini adalah proporsi dari portofolio obligasi yang terimunisasi yang membuat investor mendapatkan *yield* yang maksimal dan risiko yang minimal pada suatu periode investasi.

Katakunci: portofolio terimunisasi, obligasi, *goal programming*.

1 PENDAHULUAN

Istilah obligasi telah dikenal masyarakat luas. Obligasi digunakan sebagai pengganti surat utang yang dikeluarkan oleh suatu lembaga tertentu. Pihak yang menerbitkan obligasi akan membayar imbalan berupa kupon bunga yang tetap pada periode tertentu dan melunasi pokok utang pada waktu yang telah ditentukan kepada pihak pembeli obligasi tersebut.

Investor seringkali menggunakan obligasi untuk menyusun portofolio. Nilai portofolio akan berubah sesuai dengan harga obligasi yang menyusun portofolio tersebut. Jika nilai portofolio naik, artinya nilai kekayaan investor bertambah, sedangkan nilai kekayaan investor menurun jika nilai portofolio turun. Oleh sebab itu, diperlukan suatu cara untuk mengatasi naik turunnya nilai portofolio investor.

Konsep imunisasi obligasi diperkenalkan untuk mencegah risiko-risiko obligasi. Imunisasi obligasi berfungsi untuk melindungi investor dari perubahan harga obligasi yang dipengaruhi tingkat suku bunga dan risiko gagal bayar (*default risk*). Investor harus memilih portofolio yang optimal dengan meminimumkan risiko dan memaksimalkan waktu jatuh tempo obligasi sehingga investor mendapatkan imbal hasil (*yield*) yang maksimum. Permasalahan pemilihan portofolio optimal yang terimunisasi ini dapat diselesaikan antara lain dengan menggunakan *goal programming* (GP) [1].

2 PEMBAHASAN

Harga dari setiap jenis obligasi berbeda. Harga obligasi dinyatakan dalam persentase dari nilai nominal. Harga ini dipengaruhi oleh tingkat suku bunga dan waktu jatuh temponya. Harga obligasi berbanding terbalik dengan tingkat suku bunga. Bila tingkat suku bunga turun, maka harga obligasi akan naik. Akan tetapi, bila suku bunga naik maka harga obligasi akan menurun. Demikian pula dengan waktu jatuh temponya, semakin jauh waktu jatuh tempo obligasi maka akan semakin besar penurunan harganya.

Selain risiko suku bunga dan waktu jatuh tempo, risiko lain yang ada pada obligasi dapat dilihat dengan pemeringkatan obligasi yang biasa dikenal dengan istilah *Standard and Poor* (S&P) untuk menunjukkan risiko gagal bayar (*default risk*) dari pemilik obligasi. Di Indonesia pemeringkatan obligasi dilakukan oleh Pefindo. Semakin tinggi peringkatnya, maka akan semakin sedikit risiko gagal bayarnya. Harga obligasi juga dapat berubah bergantung pada peringkatnya.

Perubahan harga pada obligasi juga berakibat pada penyusunan portofolio. Jika nilai pada obligasi yang menyusun portofolio terus menerus jatuh, maka nilai portofolio juga akan jatuh. Namun, bila ada kesempatan bagi pemegang obligasi untuk menjual obligasinya, tingkat suku bunga akan menjadi masalah utama. Harga pasar obligasi akan meningkat jika tingkat risiko yang berlaku jatuh. Salah satu cara mengukur risiko tingkat suku bunga pada obligasi adalah jangka waktunya (*duration*). Usaha untuk mengendalikan risiko ini disebut **imunisasi**.

Konsep imunisasi pertama kali diperkenalkan oleh [2]. Imunisasi diperlukan untuk menjaga nilai obligasi dari tingkat suku bunga dan waktu jatuh tempo serta mengendalikan risiko gagal bayar (*default risk*) dari penerbit obligasi. Usaha imunisasi ini juga dapat dibantu

dengan diversifikasi portofolio untuk menghilangkan risiko portofolio yang dipengaruhi oleh faktor inflasi, struktur aset dan struktur modal.

Salah satu permasalahan yang dihadapi oleh investor adalah memaksimalkan imbal hasil (*yield)* dari obligasi-obligasi yang menyusun portofolio investor. Investor tidak hanya mengharapkan kupon, tetapi investor juga mengharapkan kenaikan nilai (*capital gain*) dari obligasi yang diperoleh dari harga jual obligasi yang lebih tinggi dari harga belinya. Untuk memaksimalkan imbal hasil (*yield*) obligasi tersebut, investor perlu meminimalkan risiko tingkat suku bunga, risiko gagal bayar (*default risk*), serta memaksimalkan waktu jatuh tempo obligasi tersebut. Masalah ini dapat dimodelkan dengan *goal programming*. Model ini mampu menyelesaikan kasus-kasus pemrograman linear yang memiliki lebih dari satu sasaran yang akan dicapai.

Strategi investasi dari imunisasi portofolio obligasi dapat dihubungkan dengan konsep durasi Macaulay. Durasi Macaulay dari obligasi ke-*i* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$D_i = \frac{\left(\left[\sum_{t=1}^{T_i} \frac{tC_i}{(1+y_i)^t}\right] + \left[\frac{T_i}{(1+y_i)^{T_i}}\right]\right)}{\left(\left[\sum_{t=1}^{T_i} \frac{C_i}{(1+y_i)^t}\right] + \left[\frac{1}{(1+y_i)^{T_i}}\right]\right)}$$

dengan y_i = *yield* dari obligasi ke-*i*, T_i = waktu jatuh tempo obligasi (*term to maturity)* ke-*i*, C_i = tingkat kupon obligasi ke-*i*, D_i= durasi dari obligasi ke-*i*. Konsep ini menghubungkan waktu jatuh tempo dan tingkat kupon untuk memperoleh durasi yang dapat digunakan dalam imunisasi obligasi.

2.1 Pengimunisasian Obligasi dari Risiko Gagal Bayar (*Default Risk*)

Diasumsikan terdapat dua obligasi yang berasal dari dua kelas risiko yang berbeda. Misalkan *yield* dari dua obligasi tersebut dinyatakan dengan y_1 dan y_2. Nilai dari setiap obligasi per rupiah dari nilai pari dapat dinotasikan sebagai berikut :

$$P_i = \left(\left[\sum_{t=1}^{T_i} \frac{C_i}{\left(1+y_i\right)^t}\right] + \left[\frac{1}{\left(1+y_i\right)^{T_i}}\right]\right), i = 1, 2$$

Misalkan q_i menyatakan banyaknya obligasi ke-*i* yang dibeli, maka kendala *budget* untuk investor ialah $A = q_1P_1 + q_2P_2$. Diasumsikan kedua *yield curve* obligasi berubah

secara acak sebesar λ setelah investor melakukan pembelian obligasi, sehingga *yield curve* baru akan berubah menjadi $y_1^* = y_1 + \lambda$ dan $y_2^* = y_2 + \lambda$. Akibatnya, nilai dari investasi pada obligasi ke-*i* pada periode investasi *m* adalah

$$G_i^* = \left(\sum_{t=1}^{T_i} \frac{C_i}{\left(1+y_i^*\right)^{t-m}} \right) + \frac{1}{\left(1+y_i^*\right)^{T_i-m}}.$$

Jika $C_i > 0$ dan $T_i \neq m$, maka $\frac{\partial G_i^*}{\partial \lambda} > 0$, sehingga G_i^* adalah fungsi konveks dari λ. Nilai dari portofolio obligasi pada periode investasi *m* akan sama dengan $V(\lambda) = q_1 G_1^* + q_2 G_2^*$. Karena G_i^* adalah fungsi konveks maka *V* adalah fungsi konveks dari λ, sehingga *V* memiliki nilai minimum. Akibatnya:

$$q_1 \left(\sum_{i=1}^{T_1} \frac{C_1(t-m)}{\left(1+y_1^*\right)^{m-t+1}} + \frac{(T_1-m)}{\left(1+y_1^*\right)^{T_1-m+1}} \right) + q_2 \left(\sum_{i=1}^{T_2} \frac{C_2(t-m)}{\left(1+y_2^*\right)^{m-t+1}} + \frac{(T_2-m)}{\left(1+y_2^*\right)^{T_2-m+1}} \right) = 0$$

Karena $V(\lambda) \geq V(0), \forall \lambda,$ investor harus menyusun portofolio seperti persamaan tersebut dengan mengganti $\lambda = 0$. Pergantian y_1* dengan y_1 dan y_2* dengan y_2 pada persamaan tersebut akan menghasilkan persamaan

$$\sum_{i=1}^{2} q_i P_i \left[(D_i - m)(1+y_i)^{m-1} \right] = 0 .$$

Didefinisikan $D_i^* = (D_i - m)(1+y_i)^{m-1} + m$ dan misalkan x_i sebagai proporsi *budget A* yang diinvestasikan pada obligasi ke-*i* $\left(x_i = \frac{q_i P_i}{A}\right)$, maka persamaan di atas dapat ditulis sebagai $x_1 D_1^* + x_2 D_2^* = m$.

Misalkan, terdapat *N* buah obligasi, maka persamaan imunisasi menjadi $\sum_{i=1}^{N} x_i D_i^* = m$. Kemudian, jika semua obligasi berasal dari kelas risiko yang sama maka y_i $\forall i$ adalah sebuah konstanta. Persamaan imunisasi menjadi $\sum_{i=1}^{N} x_i D_i = m$.

Semakin banyak portofolio yang tersedia maka investor akan tertarik pada satu obligasi yang memiliki $V(0)$ yang maksimum karena portofolio akan memiliki tingkat *yield* yang maksimum dan risiko yang minimum. Pemaksimuman imbal hasil (*yield*) portofolio hingga jatuh tempo akan sama dengan pemaksimuman persamaan

$$\frac{V(0)}{A} = \sum_{i=1}^{N} x_i y_i', \text{ dengan } y_i' = (1+y_i)^m .$$

2.2 Pengendalian Risiko Gagal Bayar

Portofolio yang diimunisasi akan mencegah risiko tingkat suku bunga tetapi portofolio tetap akan mengandung risiko gagal bayar dari *default-grade corporate bond*. Investor berharap untuk mengendalikan sejumlah risiko gagal bayar pada portofolio dengan diversifikasi konstrain. Bentuk konstrain yang pertama diasumsikan sebagai spesifikasi proporsi maksimum dan minimum untuk berbagai grup obligasi.

Misalkan Γ_j^{min} adalah grup obligasi ke-*j* yang dibatasi oleh proporsi investasi minimum γ_j^{min} .Γ_j^{max}adalah grup obligasi ke-*j* yang dibatasi oleh proporsi investasi maksimum γ_j^{max}. Pada masalah ini, diasumsikan bahwa jumlah proporsi *budget* dari grup obligasi harus lebih besar dari proporsi investasi minimum dan jumlah proporsi *budget* dari grup obligasi harus lebih besar dari proporsi investasi maksimum.

Misalkan x_i adalah proporsi *budget* obligasi ke-*i*, sehingga akan diperoleh kendala

$$\sum_{i\in\Gamma_j^{\min}} x_i \geq \gamma_j^{\min} \quad j=1,\ldots,|\Gamma_j^{min}| \qquad \text{dan} \qquad \sum_{i\in\Gamma_j^{\max}} x_i \leq \gamma_j^{\max} \quad j=1,\ldots,|\Gamma_j^{max}|$$

Kendala diversifikasi yang kedua memungkinkan untuk perluasan premi risiko gagal bayar pada portofolio. Hal ini diperoleh dengan menghitung premi risiko gagal bayar dari setiap obligasi. Kemudian jumlah nilai premi risiko gagal bayar harus lebih kecil atau sama dengan sebuah tingkat maksimum toleransi premi risiko gagal bayar Δ yang diinginkan investor. Misalkan δ_i didefinisikan sebagai premi risiko gagal bayar dari obligasi i , maka kendala ini dapat ditulis menjadi $\sum_{i=1}^{N} x_i\delta_i \leq \Delta$.

Alternatif lain untuk kendala diversifikasi kedua dilakukaan dengant menetapkan nomor indeks setiap obligasi pada kelas risikonya dan juga sebagai kendala rata-rata terboboti pada nomor indeks. Sebagai contoh, obligasi dapat ditetapkan kelas risikonya dari pemeringkatan obligasi yang ditetapkan oleh Pefindo. Peringkat obligasi yang layak untuk diinvestasikan hanya obligasi berperingkat AAA sampai BBB. Obligasi pemerintah akan diberi nilai indeks 0, peringkat obligasi AAA akan diberi nilai indeks 1, peringkat obligasi AA akan diberi nilai indeks 2, peringkat obligasi A akan diberi nilai indeks 3, dan peringkat

obligasi BBB akan diberi nilai indeks 4. Misalkan f_i ialah nomor indeks yang ditetapkan untuk obligasi ke- *i*, maka kendala yang diperoleh adalah $\sum_{i=1}^{N} x_i f_i \leq F$ dengan *F* adalah toleransi maksimum nilai indeks. Toleransi maksimum nilai indeks diperoleh dari nilai indeks obligasi perusahaan yang memiliki waktu jatuh tempo paling dekat dengan periode investasi.

2.3 Kendala Pemilihan Portofolio B*ullet*

Portofolio obligasi yang diimunisasi dipilih dari banyak kandidat yang berasal dari portofolio *bullet, barbell* atau *ladder*. Portofolio *bullet* berisi obligasi yang memiliki waktu jatuh tempo yang singkat. Portofolio *barbell* berisi obligasi yang beberapa di antaranya memiliki waktu jatuh tempo yang sangat singkat dan beberapa obligasi lainnya memiliki waktu jatuh tempo yang sangat panjang, sedangkan portofolio *ladder* berisi obligasi dengan durasi rentang waktu yang sangat luas.

Spesifikasi pemilihan portofolio *bullet* dilakukan dengan dua tahap. Pertama, *N* buah obligasi dibagi ke dalam dua grup. Grup N_A berisi obligasi yang memiliki durasi D_i kurang dari periode *m*, sedangkan grup N_B berisi obligasi yang memiliki durasi D_i lebih panjang daripada periode *m*. Kedua, deviasi rata-rata terboboti absolut (*Mean Absolute Deviation*/MAD) dari perbedaan durasi kedua obligasi dengan periodenya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$MAD = \sum_{i \in N_A} x_i (m - D_i) + \sum_{i \in N_B} x_i (D_i - m) = \sum_{i=1}^{N} x_i \left| D_i - m \right|,$$

dengan N_A = obligasi yang memiliki waktu jatuh tempo yang kurang dari periode investasi, sedangkan N_B = obligasi yang memiliki waktu jatuh tempo yang lebih panjang dari periode investasi. MAD merupakan kesalahan peramalan (*forecasting error*) terhadap selisih durasi dengan periode investasi. Semakin kecil kesalahan peramalan yang dihasilkan, maka hasil yang diperoleh semakin baik. Oleh sebab itu, kendala portofolio *bullet* diperoleh dari MAD yang kurang dari atau sama dengan jumlah arbitrasi β, akibatnya

$$\sum_{i=1}^{N} x_i \left| D_i - m \right| \leq \beta .$$

Sebagai tambahan, jumlah proporsi *budget* dari setiap obligasi harus sama dengan satu dan jumlah proporsi *budget* dari setiap obligasi juga harus taknegatif, yaitu

$$\sum_{i=1}^{N} x_i = 1, \text{ dan } x_i \geq 0, \forall i.$$

2.4 Formulasi Masalah Imunisasi dengan *Goal Programming*

Penyelesaian imunisasi obligasi dengan *goal programming* ini dilakukan dengan mengatur urutan peminimuman variabel deviasi dari prioritas yang tertinggi sampai yang terendah. Prioritas sasaran tertinggi untuk imunisasi obligasi akan dijamin bila *yield* portofolio paling tidak sama dengan α_i yang didefinisikan sebagai *yield* yang diinginkan. Kendala sasaran ini dapat ditunjukkan dengan persamaan

$$\sum_{i=1}^{N} x_i y_i' + d_1^- - d_1^+ = \alpha_1. \tag{1}$$

Sasaran ini akan muncul dalam fungsi objektif sebagai

Minimumkan $\Phi_1 d_1^-$,

dengan Φ_1 digunakan untuk menyatakan bahwa d_1^- memiliki prioritas teratas.

Spesifikasi pada prioritas kedua dan ketiga dikembangkan dari tingkat risiko gagal bayar dan pembentukan portofolio *bullet*. Misalkan pengendalian tingkat risiko gagal bayar adalah prioritas sasaran yang lebih tinggi daripada pembentukan portofolio *bullet*. Misalkan p adalah banyaknya kendala yang ada pada model untuk Γ_j^{min}, sedangkan q adalah banyaknya kendala yang ada pada model untuk Γ_j^{max}, sehingga investor akan menambahkan

$$\Phi_2 \left(\sum_{j=1}^{p} d^-{}_{j+1} + \sum_{j=1}^{q} d^+{}_{j+1+p} + d^+{}_{2+p+q} \right) + \Phi_3 d^+{}_{3+p+q}$$

pada fungsi objektif. Variabel-variabel deviasi muncul dari modifikasi persamaan-persamaan berikut ini :

$$\sum_{i \in \Gamma_j^{\min}} x_i + d^-{}_{j+1} - d^+{}_{j+1} = \gamma_j^{\min}, \qquad j = 1,..,\left|\Gamma_j^{min}\right|, \tag{2}$$

$$\sum_{i \in \Gamma_j^{\max}} x_i + d^-{}_{j+1+p} - d^+{}_{j+1+q} = \gamma_j^{\max} \; j=1,...,\left|\Gamma_j^{max}\right|, \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_i \delta_i + d^-{}_{2+p+q} - d^+{}_{2+p+q} = \Delta, \tag{4}$$

dengan Δ adalah tingkat maksimum toleransi premi risiko gagal bayar Δ yang diinginkan investor atau

$$\sum_{i=1}^{N} x_i f_i + d^-{}_{2+p+q} - d^+{}_{2+p+q} = F, \tag{5}$$

dengan F adalah toleransi maksimum nilai indeks, dan

$$\sum_{i=1}^{N} x_i \left| D_i - m \right| + d^-{}_{3+p+q} - d^+{}_{3+p+q} = \beta. \tag{6}$$

Prioritas sasaran keempat diperoleh dari ketiga prioritas sasaran awal. Pada tahap ini ada lebih dari satu solusi yang dapat mencapai ketiga sasaran awal, yaitu

$$d_1^- = \sum_{j=1}^{p} d^-{}_{j+1} = \sum_{j=1}^{q} d^+{}_{j+1+p} = d^+{}_{2+p+q} = d^+{}_{3+p+q} = 0$$

Mengingat kemungkinan solusi ganda (*multiple solution*), investor akan lebih tertarik pada portofolio yang memiliki *yield* yang paling tinggi. Masalah ini dapat diselesaikan dengan menambahkan kendala sasaran yang keempat, yaitu :

$$\sum_{i=1}^{N} x_i y_i' + d^-_{4+p+q} = \alpha_2, \tag{7}$$

dengan α_2 adalah nilai *yield* yang besar. Nilai α_2 sama dengan nilai terbesar pada $\{ y_i' \}$, sehingga sasaran keempat diperoleh dengan menambahkan $\Phi_4 d^-{}_{4+p+q}$ pada fungsi objektif. Dari fungsi objektif dan kendala yang didapat, formulasi *goal programming* dari masalah imunisasi portofolio obligasi dapat ditulis sebagai berikut:

Minimumkan

$$\Phi_1 d_1^- + \Phi_2 \left(\sum_{j=1}^{p} d^-{}_{j+1} + \sum_{j=1}^{q} d^+{}_{j+1+p} + d^+{}_{2+p+q} \right) + \Phi_3 d^+{}_{3+p+q} + \Phi_4 d^-_{4+p+q}$$

terhadap kendala persamaan (1), (2), (3), (4) atau (5), (6), (7), dan kendala

$$\sum_{i=1}^{N} x_i D_i^* = m, \quad \sum_{i=1}^{N} x_i = 1, \text{ dan } x_i, d_j^-, d_j^+ \geq 0, \forall i, j$$

2.5 Contoh Kasus Optimasi Portofolio Obligasi yang Terimunisasi

Contoh kasus optimasi portofolio menggunakan data 30 obligasi seperti pada Tabel 1. Enam obligasi dipilih dari setiap kelas risiko. Diasumsikan bahwa obligasi dipilih dengan tingat kupon rendah dan tidak ada opsi *call*. Batas periode investasi *m* = 36 bulan.

Tabel 1 Informasi obligasi

Obligasi	Jenis obligasi	Tingkat kupon	Peringkat obligasi	Jatuh tempo	*Yield to maturity*
1	Obligasi Negara th. 2010 RI Seri FR0055	7.38	-	15-Sep-2016	0.06435
2	Obligasi Negara th. 2005 Seri FR0028	10.00	-	15-Jul-2017	0.06768
3	Obligasi Negara th. 2010 RI Seri FR0053	8.25	-	15-Jul-2021	0.07402
4	Obligasi Negara th. 2006 Seri FR0040	11.00	-	15-Sep-2025	0.08304
5	Obligasi Negara th. 2010 RI Seri FR0056	8.38	-	15-Sep-2026	0.08235
6	Obligasi Negara RI Seri FR0050	10.50	-	15-Jul-2038	0.09346
7	Bank Ekspor Indonesia IV th. 2009 Seri B	11.630	AAA	18-Jun-2012	0.09530
8	Bank Ekspor Indonesia IV th 2009 Seri C	12.000	AAA	18-Jun-2014	0.09946
9	Bank Ekspor Indonesia IV th 2009 Seri D	12.750	AAA	18-Jun-2016	0.08443
10	Obligasi Bentoel I tahun 2007	10.50	AAA	27-Nov-2012	0.07773
11	Obligasi II Telkom tahun 2010 Seri A	9.60	AAA	6-Jul-2015	0.08157
12	Obligasi II Telkom tahun 2010 Seri B	10.20	AAA	6-Jul-2020	0.08771
13	Obl. Astra Sedaya Finance XI 2010 Seri G	10.90	AA	18-Mar-2014	0.09256
14	Obligasi VII Bank Jabar tahun 2011 Seri C	10.400	AA	9-Feb-2018	0.08925
15	Obl. XIII Perum Pegadaian th 2009 Seri C	12.875	AA	1-Jul-2019	0.09109
16	Bank BTN XIV tahun 2010	10.250	AA	11-Jun-2020	0.09289
17	Obligasi PLN IX tahun 2007 Seri B	10.90	AA	10-Jul-2022	0.09688
18	Indosat II tahun 2002 Seri B	16.00	AA	6-Nov-2032	0.15540
19	Ob Matahari Putra Prima III th 2009 Seri A	16.00	A	14-Apr-2012	0.08153
20	Obligasi Summarecon Agung II tahun 2008	14.10	A	25-Jun-2013	0.09874
21	Obl. Verena *Multi Finance* I th 2011 Seri C	11.25	A	18-Mar-2014	0.10522
22	Obligasi Bank Sulut IV tahun 2010	12.00	A	9-Apr-2015	0.09918
23	Obligasi V Danareksa tahun 2010 Seri B	10.20	A	11-Jan-2016	0.09301
24	Obligasi Subordinasi I Bank Nagari th 2010	10.90	A	13-Jan-2018	0.09882
25	Bank Victoria II tahun 2007	12.00	BBB	21-Mar-2012	0.11993
26	Obligasi Duta Pertiwi V tahun 2007	12.85	BBB	11-Jul-2012	0.09921
27	Ob. Sinar Mitra Sepadan I Fin. 2010 Seri B	13.15	BBB	8-Jan-2012	0.09158
28	Obligasi Aneka Gas Industri I tahun 2008	14.50	BBB	8-Jul-2013	0.11782
29	Obligasi I *Bakrieland Dev* th 2008 Seri B	12.85	BBB	11-Mar-2013	0.11769
30	Obligasi Sinar Mitra Sepadan I Finance 2010 Seri C	13.35	BBB	8-Jan-2013	0.09937

Sumber: Penilai Harga Efek Indonesia/*Indonesia Bond Pricing Agency* (IBPA) (April 2011)

Diasumsikan pula bahwa

- paling sedikit 25% modal harus diinvestasikan pada obligasi pemerintah,
- tidak lebih dari 25% modal bisa diinvestasikan pada setiap obligasi perusahaan,
- tidak lebih dari 50% modal bisa diinvestasikan pada dua kelas risiko dengan peringkat terbawah pada kelas risiko obligasi perusahaan (A dan BBB),
- rata-rata terboboti premi risiko gagal bayar bisa disesuaikan dengan nomor titik basis dari gagal bayar yang berhubungan dengan obligasi yang memiliki peringkat obligasi AA dan waktu jatuh temponya hampir sama dengan batas periode investasi *m*, atau

- rata-rata terboboti dari indeks risiko gagal bayar bisa disesuaikan dengan obligasi yang memiliki peringkat obligasi AA,
- portofolio *bullet* dikonstruksi sehingga memiliki deviasi rata-rata terboboti absolut (MAD) yang tidak lebih besar dari perolehan nilai dengan mengonstruksi sebuah persamaan portofolio yang terboboti dari dua obligasi dengan peringkat obligasi AA, sehingga portofolio memiliki durasi yang dekat dengan batas durasi investasi,
- nilai target untuk $\alpha_1 = 1.3187$. α_1 adalah sejumlah nilai *present value* $(1 + y_i)^m$ dari obligasi ke-13, yaitu obligasi dengan waktu jatuh temponya hampir sama dengan batas durasi investasi (36 bulan) dan memiliki peringkat obligasi AA, sedangkan α_2 adalah *yield* portofolio yang lebih besar dari present value $(1 + y_i)^m$ terbesar dari keseluruhan obligasi, maka dipilih $\alpha_2 = 1.5891$ yang sesuai dengan obligasi ke-18.

Penyelesaian masalah optimasi portofolio obligasi yang terimunisasi dengan *goal programming* pada karya ilmiah ini dilakukan dengan memanfaatkan *software* LINGO 11.0. Tahap pertama untuk menyelesaikan masalah ini ialah dengan membagi fungsi objektif menjadi empat bagian sesuai dengan urutan prioritas. Prioritas pertama, meminimumkan d_1^- terhadap kendala yang diberikan dan diperoleh $d_1^- = 0$ (tujuan pertama, yaitu memaksimalkan *yield* portofolio, tercapai). Kemudian dilanjutkan dengan menambahkan $d_1^- = 0$ pada kendala di prioritas kedua, yaitu meminimumkan $d_2^- + \sum_{j=1}^{25} d_{j+2}^+ + d_{28}^+$ terhadap kendala yang diberikan, dan diperoleh hasil $d_2^- + \sum_{j=1}^{25} d_{j+2}^+ + d_{28}^+ = 0$ (tujuan kedua, yaitu meminimalkan risiko gagal bayar, dipenuhi). Kemudian pada prioritas yang ketiga, dilanjutkan dengan menambahkan $d_1^- = 0$ dan $d_2^- + \sum_{j=1}^{25} d_{j+2}^+ + d_{28}^+ = 0$ pada kendala untuk meminimumkan d_{29}^+ diperoleh hasil $d_{29}^+ = 0$ (tujuan ketiga, yaitu meminimalkan rata-rata deviasi absolut dari waktu jatuh tempo, tercapai). Dengan cara serupa *goal programming* ke-empat diselesaikan dengan meminimumkan d_{30}^- terhadap kendala yang diberikan. Solusi yang didapat pada prioritas keempat adalah $d_{30}^- = 0.256$. Dari nilai ini dapat diperoleh bahwa tujuan keempat, yaitu memaksimalkan nilai *yield* yang terbesar, tidak terpenuhi. Dari output LINGO 11.0 diperoleh solusi berupa obligasi yang terpilih berikut proporsinya dari modal yang dimiliki agar diperoleh keuntungan (imbal hasil) yang maksimal.

Tabel 2 Proporsi optimal portofolio obligasi yang terimunisasi

Obligasi	Proporsi dari modal
1	0.3
14	0.115
18	0.086
21	0.149
24	0.250
25	0.1

3 SIMPULAN

Penelitian ini merupakan usaha mencari alternatif teknik untuk mencari portofolio obligasi yang terimunisasi optimal selain menggunakan pemrograman linear. Masalah optimasi portofolio obligasi yang terimunisasi ini dapat dipandang sebagai model *goal programming* karena model ini dapat digunakan untuk memodelkan masalah dengan lebih dari satu fungsi objektif.

Masalah optimasi portofolio obligasi yang terimunisasi dengan *goal programming* menggunakan prioritas dan menghasilkan enam obligasi dari kelas risiko yang berbeda. Prioritas pertama, kedua dan ketiga pada model *goal programming* berhasil dicapai, sedangkan prioritas keempat tidak berhasil dicapai. Walaupun dalam kasus ini, investor tidak mendapatkan *yield* terbesar, tetapi investor mampu menghasilkan *yield* yang lebih besar dari *yield* yang diinginkan investor dengan periode investasi 3 tahun atau 36 bulan. Penyelesaian ini dapat digunakan untuk menurunkan alternatif-alternatif yang diperlukan dalam proses pembuatan keputusan investasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Alexander GJ, Resnick BG. 1985. Using linear and goal programming to immunize bond portfolios. *Journal of Banking and Finance* 9 (1): 35-54.

[2] Bierwag GO, Khang C. 1979. An immunization strategy is a minimax strategy. *Journal of Finance* 34: 389-399.

DATA WAREHOUSE DAN APLIKASI OLAP AKADEMIK KURIKULUM MAYOR-MINOR DEPARTEMEN ILMU KOMPUTER IPB BERBASIS LINUX

Hari Agung[1], Karomatul Aulia[2]
[1,2]Departemen Ilmu Komputer, FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
agung@ipb.ac.id

ABSTRAK

Kurikulum Berbasis Kompetensi dengan sistem mayor-minor memiliki tujuan untuk menjamin fleksibilitas guna meningkatkan kompetensi dan softskill lulusan terbaik. Untuk memantau dan menganalisis lebih lanjut perkembangan prestasi mahasiswa, maka Departemen Ilmu Komputer FMIPA IPB mengembangkan Data Warehouse Akademik menggunakan software Mondrian yang berbasis Linux. Data warehouse dan OLAP berbasis web data akademik Ilmu Komputer yang dikembangkan memiliki dua kubus data, yaitu kubus data mata kuliah mutu dan indeks prestasi. Dua kubus data tersebut dapat divisualisasikan dalam tiga jenis tampilan, yaitu tampilan grafik batang, grafik garis dan pie chart dengan menggunakan OLAP Mondrian 3.2.0. Selain itu kubus data juga dapat dicetak dalam bentuk pdf dan excel. Operasi OLAP yang dilakukan pada kubus data ini adalah roll-up (misalnya mencari pola sebaran perkembangan huruf mutu mata kuliah mayor, interdepartemen, pilihan, dan elektif pada setiap angkatan.), drill-down (Rataan IP dan Rataan IPK berdasarkan jenis kelamin, minor dan tahun akademik), dice (misalnya untuk melihat jumlah mahasiswa yang mengambil minor riset operasi), dan slice (jumlah mahasiswa yang drop out tiap angkatan berdasarkan jenis kelamin).

Kata Kunci*:* Datawarehouse, Akademik, Linux, Mondrian

1 PENDAHULUAN

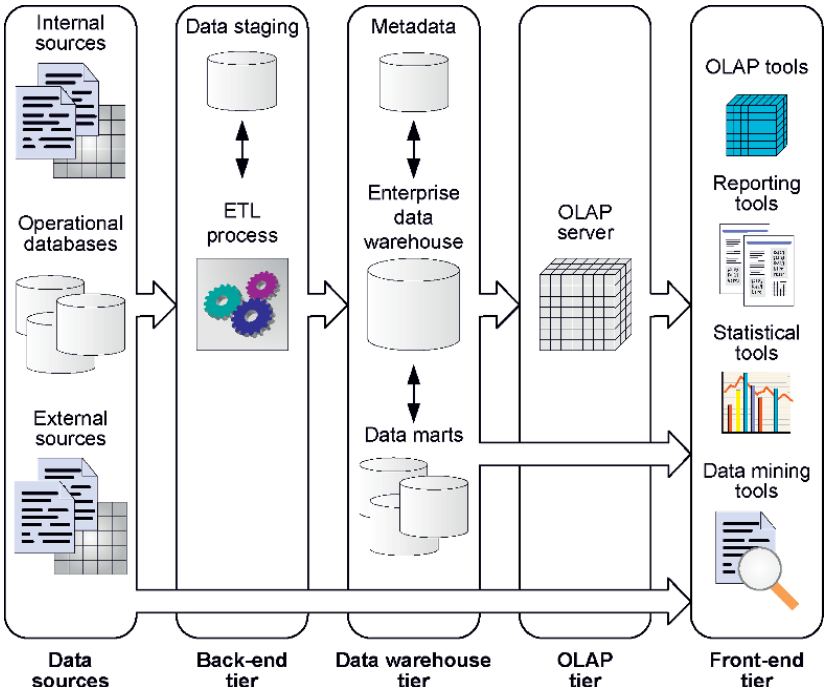
Kurikulum Berbasis Kompetensi di IPB dengan sistem mayor-minor memiliki tujuan untuk menjamin fleksibilitas guna meningkatkan kompetensi dan softskill lulusan terbaik. Kurikulum sistem mayor-minor adalah kurikulum berbasis kompetensi di mana setiap mahasiswa mengikuti pendidikan dalam salah satu mayor sebagai bidang keahlian (kompetensi) utama dan dapat mengikuti pendidikan dalam salah satu bidang minor sebagai sebagai bidang (kompetensi) pelengkap. Untuk memantau dan menganalisis lebih lanjut perkembangan prestasi mahasiswa, maka dikembangkan Data Warehouse Akademik. Data warehouse adalah koleksi data yang berorientasi subjek, terintegrasi, nonvolatile, dan time-variant dalam mendukung proses pengambilan keputusan. [1]

Karakteristik data warehouse adalah :

- Berorientasi subjek : Data warehouse terpusat pada kebutuhan analisis data yangbervariasi pada tiap le vel untuk menentukan keputusan dengan berorientasi pada subjek. Subjek sangat ditentukan pada aktivitas organisasi, contohnya analisis penjualan, produk, dan konsumen.
- Terintegrasi : Data dibangun dengan mengintegrasikan berbagai sumber data yang berbeda-beda yaitu tipe data, *synonyms* (field yang berbeda tapi datanya sama), *homonyms* (field dengan nama yang sama tapi data yang berbeda), keseragaman data, dan masalah yang lainnya.
- *Non-volatile* : Data bertahan lama karena tidak dilakukan modifikasi ataupun dikurangi. Dapat dikatakan bahwa data tidak dapat diubah secara *real time*.
- *Time-variant* : Data pada suatu waktu dapat dipertahankan dengan rentang waktu tertentu.

Keuntungan yang didapat jika menggunakan data warehouse antara lain [2] semua informasi sudah terdapat dalam satu tempat, informasi yang update, akses yang cepat, tidak ada batas ukuran, tersedia semua data *history*, mudah dimengerti dan memiliki standar data. Dengan demikian data warehouse memberikan ringkasan data operasional yang sederhana dan mudah dipahami melakukan analisis untuk membuat keputusan. Arsitektur umum datawarehouse dapat dilihat pada Gambar 1.

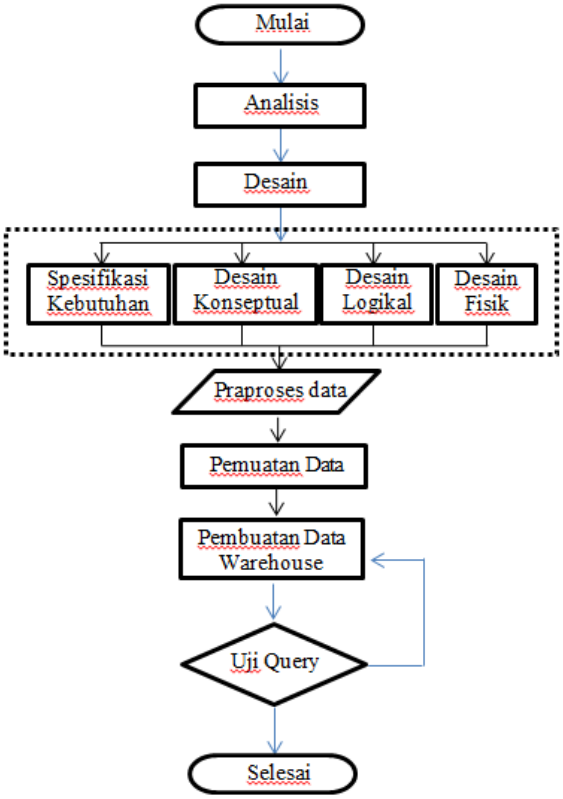
Data Warehouse Akademik untuk Kurikulum Mayor-minor di Program Sarjana Departemen Ilmu Komputer IPB memiliki tiga tabel fakta yaitu indeks prestasi, mata kuliah mutu, dan sebaran minor [3]. Datawarehouse tersebut belum dapat menampilkan rataan IP dan IPK mahasiswa berdasarkan minor yang diambil. Hal ini karena adanya pemisahan tabel fakta antara indeks prestasi dengan sebaran minor. Oleh karena itu perlu dibangun data warehouse yang mengintegrasikan antara mata kuliah minor yang diambil dengan rataan IP maupun IPK.



Gambar 1 Arsitektur umum datawarehouse

2 METODOLOGI

Pengembangan data warehouse yang ditujukan untuk menganalisis data dilakukan dengan mengikuti beberapa fase desain yaitu spesifikasi kebutuhan, desain konseptual, desain logis, dan desain fisik. Dua fase pertama merupakan fase yang sangat penting karena mempengaruhi persetujuan pengguna terhadap sistem yang dibuat. Dua tahap tersebut menentukan hubungan antara dunia nyata (kebutuhan pengguna) dan dunia software (sistem yang digunakan). Fase selanjutnya, yaitu desain logis dan fisik yang lebih mengacu pada tahapan teknis yang dilakukan berurutan untuk merepresentasikan skema desain konseptual untuk mengimplementasikannya ke dalam data warehouse [1]. Secara singkat metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Metode Penelitian

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis

Sistem ditujukan kepada dosen sebagai pengguna biasa agar dapat berinteraksi dengan grafis berbasis web sehingga dapat memanfaatkan fasilitas sistem dengan mudah, antara lain :

- memilih dimensi atau atribut melalui kotak *drop-down list*.
- menampilkan data dalam bentuk tabel pivot.
- menampilkan data dalam bentuk grafik batang, garis, dan lingkaran.
- mencetak laporan dalam format Excel maupun pdf

Dari aplikasi ini, diharapkan dapat diberikan beberapa informasi antara lain :

- perkembangan jumlah mahasiswa per tahun.

- perkembangan huruf mutu mata kuliah tertentu
- perkembangan indeks prestasi tiap angkatan berdasarkan status studi.
- perkembangan indeks prestasi tiap angkatan berdasarkan minor yang diambil.
- rata-rata lama studi untuk mahasiswa angkatan 2005.
- rata-rata IP dan IPK tiap angkatan.
- persebaran minor yang banyak dipilih berdasarkan rataan IP dan IPK.

3.2 Desain

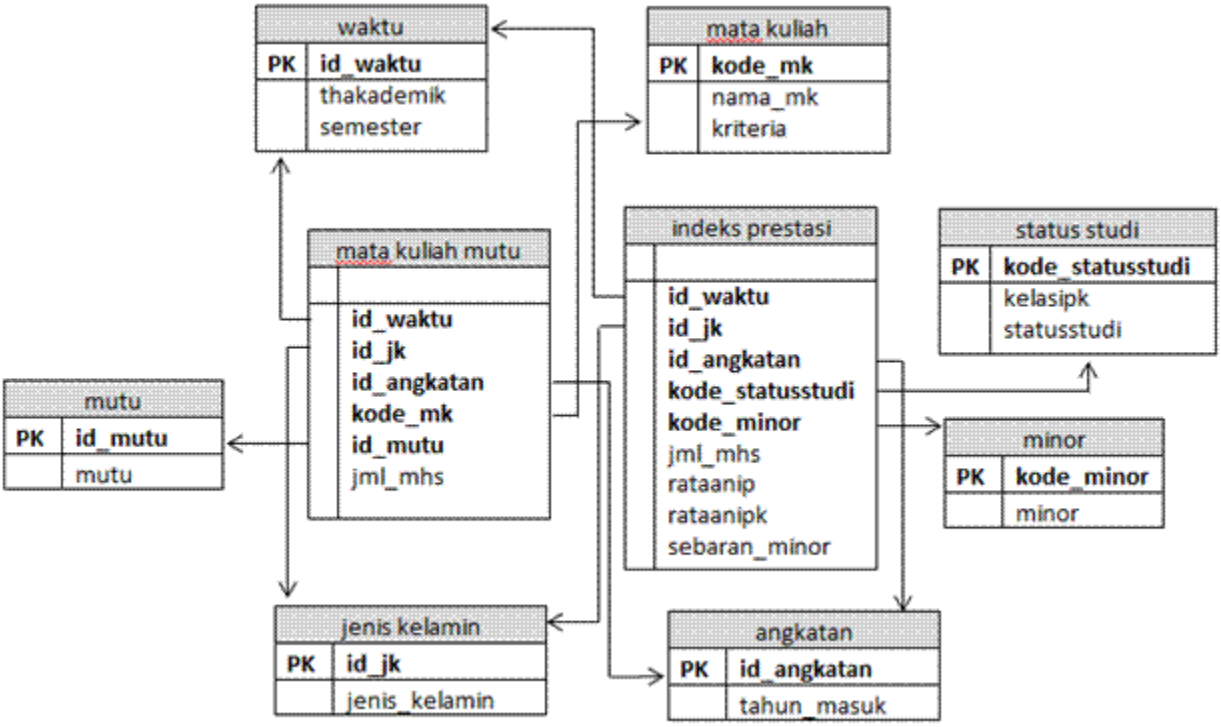
Pada tahap ini analisis untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing data yang diketahui sehingga memudahkan dalam menentukan desain data warehouse yang akan dirancang. Pada penelitian ini, sumber data diperoleh dengan format .csv. Proses analisis dilakukan terhadap data untuk mengevaluasi atribut-atribut untuk membangun data warehouse. Tabel fakta yang diperlukan adalah tempfact_indeksprestasi (Tabel 1) dan tempfact_mkmutu (Tabel 2) serta tujuh tabel dimensi (waktu, angkatan, minor, matakuliah, mutu, statusstudi, dan jeniskelamin. Fakta terdiri atas foreign key dari tabel dimensi ukuran : jumlah mahasiswa, rataan ip, rataan ipk, dan sebaran minor. Selanjutnya dibuat skema model data multidimensi untuk data warehouse (Gambar 3)

Tabel 1 Nama dan deskripsi atribut tabel tempfact_indeksprestasi

Nama Atribut	Deskripsi
id_mhs	Kode mahasiswa sebagai penciri tiap mahasiswa
id_jk	Kode jenis kelamin mahasiswa
th_akademik	Tahun akademik dari tiap semester
kode_statusstudi	Kode yang menunjukkan status studi mahasiswa berdasarkan IPK yang diperoleh tiap semester
kode_minor	Kode minor dari tiap-tiap departemen
Ip	Nilai IP per semester
Ipk	Nilai IPK

Tabel 2 Nama dan deskripsi atribut tabel tempfact_mkmutu

Nama Atribut	Deskripsi
id_mhs	Kode mahasiswa sebagai penciri tiap mahasiswa
id_jk	Kode jenis kelamin mahasiswa
th_akademik	Tahun akademik dari tiap semester
kode_mk	Kode mata kuliah yang diambil
Mutu	Huruf mutu



Gambar 3 Skema model data multidimensi untuk data warehouse

3.3 Praproses Data

Salah satu kegiatan dalam praproses data adalah pembersihan data yang dilakukan dengan mengidentifikasi data yang kosong (null) dan tidak konsisten karena proses peng-entri-an data sumber maupun akibat proses integrasi data. Dalam pembersihan data terdapat beberapa nilai yang kosong (null). Perlakuan nilai yang kosong antara lain :

- atribut minor nilai → diisi dengan supporting course
- atribut huruf mutu → diisi dengan BM
- atribut kode minor awal (kodeminorawal) → diisi dengan kode minor yg sedang diambil sesuai dengan nilai dari atribut kodeminor

Data yang tidak konsisten pada tabel mami dengan atribut nama mata kuliah (namamk) di-update dengan menyeragamkan nilai dari atributnya. Beberapa contoh nilai yang tidak konsisten antara lain :

- Algoritme dan Pemrograman diubah menjadi Algoritma dan Pemrograman
- Analisis Algoritme diubah menjadi Analisis Algoritma
- Sistem Pengembangan Berorientasi Obyek diubah dengan Sistem Pengembangan Berorientasi Objek
- Praktek Lapang diubah menjadi Praktek Kerja Lapangan

3.4 Pemuatan Data

Pada tahap ini, data telah siap untuk dimuat (load) ke dalam data warehouse. Tahap pemuatan bertujuan untuk memuat data yang terseleksi ke dalam data warehouse tujuan dan membuat indeks yang diperlukan.

3.5 Pembuatan Datawarehouse

Perangkat lunak: yang digunakan dalam pembuatan datawarehouse ini adalah

- Sistem Operasi Linux Ubuntu 10.04 Desktop
- PostgreSQL 8.4.2 (perangkat lunak DBMS untuk pemrosesan data dan pembuatan skema data warehouse)
- Mondrian Server 3.2.0 (berfungsi sebagai OLAP server yang melakukan fungsi agregasi dan tempat penyimpanan struktur dan data kubus data multidimensi)
- Schema Workbench (tempat pembuatan / pemodelan struktur kubus data dan proses pemuatan data dari data warehouse ke kubus data)
- Web Server Apache Tomcat
- Web browser Mozilla Firefox 3.0.1

Mondrian merupakan aplikasi server OLAP (Online Analytical Processing) berbasis open source yang menggunakan bahasa pemrograman Java. Mondrian mengeksekusi query yang ditulis dengan bahasa MDX (Multi-Dimensional Expression), membaca data dari basisdata relasional (RDBMS), dan merepresentasikan hasil multidimensional dengan format Java API. Saat ini bernaung di bawah Pentaho Corporation. Pemrakarsa proyek ini adalah Julian Hyde dari Amerika Serikat dan sekarang ini tetap sebagai project leader dari Mondrian. Proyek Mondrian ini merupakan kombinasi yang sangat baik dengan JPivot - interface berbasis web yang juga merupakan proyek open source [4]

Perangkat keras berupa komputer personal dengan spesifikasi: Prosesor Intel(R) Core(TM) 2 Duo CPU @2.20 (2 CPUs) GHz, Memori 4 GB RAM, Harddisk 160 GB, Monitor 13.1" dengan resolusi 1024 × 768 pixel dan Mouse dan Keyboard

3.4 Uji Query

Tahap ini dilakukan setelah pembuatan data warehouse selesai. Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah operasi dasar OLAP berhasil diimplementasikan dan sesuai dengan informasi yang ditampilkan. Pengujian dilakukan dengan memvisualisasikan kubus data dengan grafik dan tabel jpivot, misal :

- Jumlah mahasiswa, rataan IP dan rataan IPK berdasarkan status studi (Gambar 4)
- Jumlah mahasiswa yang mengambil minor tertentu dan memiliki IPK >= 3.51 pada tahun 2005 (Gambar 5)
- Minor dengan jumlah peserta terbanyak/favorit (Gambar 6).

	Measures		
status studi	jumlah mahasiswa	rataan ip	rataan ipk
-semua status studi	2,515	2.539	2.961
-A. Nilai Belum Lengkap	329	0.061	2.816
BM	329	0.061	2.816
-A. Tanpa Syarat	2,146	2.942	3.009
1.[IPK>=3.51]	247	3.682	3.691
2.[2.76<=IPK<3.51]	1,365	3.058	3.11
3.[2.00<=IPK<2.76]	534	2.305	2.437
-B. Peringatan	24	1.396	1.81
1.[IP>=2; 1.50<IPK<2.00]			
2.[IP<2; 1.50<IPK<2.00]	24	1.396	1.81
-B. Peringatan Keras	3	1.937	1.843
3.[IP<2; 1.50<IPK<2.00]	3	1.937	1.843
-C. Drop out	13	0.838	0.962
1.[1.00<IPK<=1.50]	6	1.232	1.438
2.[0.00<=IPK<=1.00]	7	0.5	0.553

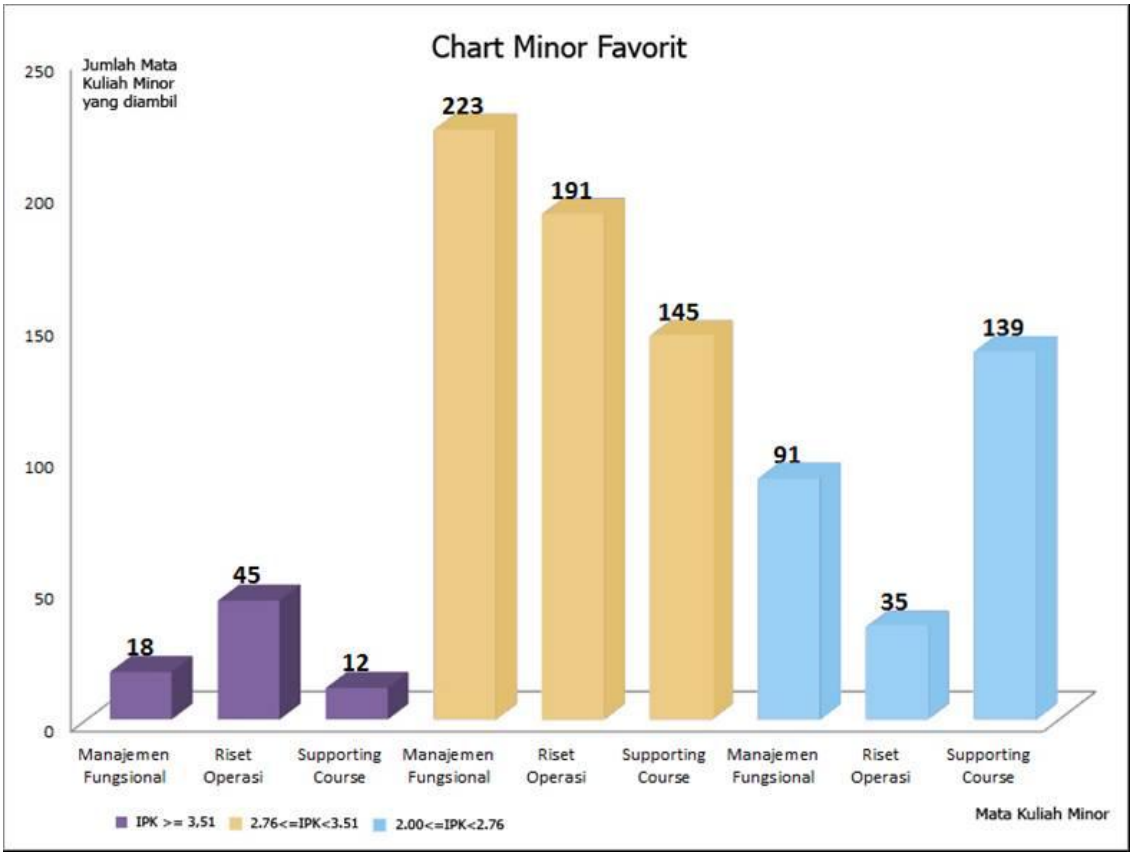
Gambar 4 Jumlah mahasiswa, rataan IP dan rataan IPK berdasarkan status studi

			Measures		
status studi	minor	angkatan	jumlah mahasiswa	rataan ip	rataan ipk
1.[IPK>=3.51]	Fisika Instrumentasi	2005	16	3.761	3.813
	Kewirausahaan Agribisnis	2005	6	3.595	3.66
	Manajemen Fungsional	2005	5	3.66	3.56
	Riset Operasi	2005	16	3.61	3.591
	Supporting Course	2005	7	3.763	3.717

Gambar 5 Jumlah mahasiswa yang mengambil minor tertentu dan memiliki IPK >= 3.51 pada tahun 2005

Dari Gambar 6 terlihat untuk IPK antara 2,76 sampai dengan 3,51, minor yang paling banyak diambil adalah Manajemen Fungsional dan Riset Operasi, serta SC. Manajemen Fungsional sendiri peminatnya tetap dari tahun ke tahun, sedangkan untuk Riset Operasi dan SC menurun. Untuk mahasiswa dengan nilai IPK antara 2,00 sampai dengan 2,76 banyak yang mengambil SC – dan mengalami peningkatan pada tahun 2006. Dengan nilai rataan IP tertinggi diperoleh minor Riset Operasi dan rataan IPK tertinggi adalah Manajemen Industri. Dari beberapa analisis di atas dapat disimpulkan bahwa beberapa

minor favorit pilihan mahasiswa berdasarkan jumlah sebaran mahasiswa dengan rataan nilai IPK dari 2,00 sampai 3,51 adalah SC, Manajemen Fungsional, dan Riset Operasi.



Gambar 6 Minor dengan jumlah peserta terbanyak

4 KESIMPULAN

Hasil penelitian menyimpulkan bahwa, pembangunan data warehouse dan OLAP berbasis web data akademik Ilmu Komputer menghasilkan dua kubus data, yaitu kubus data mata kuliah mutu dan indeks prestasi. Dua kubus data tersebut dapat divisualisasikan dalam tiga jenis tampilan, yaitu tampilan grafik batang, grafik garis dan pie chart dengan menggunakan OLAP Mondrian 3.2.0. Selain itu kubus data juga dapat dicetak dalam bentuk pdf dan excel.

Operasi OLAP yang dilakukan pada kubus data ini adalah roll-up (misalnya mencari pola sebaran perkembangan huruf mutu mata kuliah mayor, interdepartemen, pilihan, dan elektif pada setiap angkatan.), drill-down (Rataan IP dan Rataan IPK berdasarkan jenis kelamin, minor dan tahun akademik), dice (misalnya untuk melihat jumlah mahasiswa yang mengambil minor riset operasi), dan slice (jumlah mahasiswa yang drop out tiap angkatan berdasarkan jenis kelamin).

Hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi Departemen Ilmu Komputer dalam mempermudah analisis data akademik ukuran besar sehingga dapat membantu dalam pengaksesan data tersebut, penyampaian informasi, pembuatan laporan dan pembuatan keputusan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Malinowski E, Zim´anyi E. 2008. Advanced Data Warehouse Design. Heidelberg: Springer.

[2] Bouman R, Dongen J.V. 2009. Pentaho Solution. Canada: Wiley.

[3] Sulistyaningsih, W. 2010. Pembangunan Data Warehouse Akademik (Studi Kasus : Kurikulum Mayor-minor Program Sarjana Departemen Ilmu Komputer IPB). [Skripsi]. Bogor : Departemen Ilmu Komputer, FMIPA, Institut Pertanian Bogor.

[4] Hyde, J. 2007. Developing OLAP solutions with Mondrian.

PEMODELAN HARGA SAHAM MENGGUNAKAN GENERALISASI PROSES WIENER DAN MODEL ARIMA

Mutia Indah Sari[1)], Endar H. Nugrahani[2)], Retno Budiarti[3)]

[1,2,3)]Departemen Matematika, FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
[1)]mutiaindahsari@gmail.com
[2)]e_nugrahani@ipb.ac.id
[3)]retno.budiarti@gmail.com

ABSTRAK

Harga saham berfluktuasi seiring dengan berubahnya waktu, maka diperlukan model harga saham untuk meramalkan harga saham untuk masa yang akan datang. Harga saham dikatakan mengikuti proses stokastik kontinu. Salah satu satu model yang digunakan untuk memodelkan harga saham adalah model generalisasi proses Wiener, yang menggambarkan perubahan dari suatu variabel acak dengan komponen deterministik sesuai *drift rate* dan komponen stokastik yang menyebar normal sesuai proses Wiener. Di samping itu, data harga saham merupakan data deret waktu, sehingga model ARIMA juga digunakan dalam fenomena ini dan untuk meramalkan harga saham untuk masa yang akan datang.

Kata Kunci*:* model generalisasi proses Wiener, ARIMA, harga saham

1 PENDAHULUAN

Suatu variabel yang nilainya berubah seiring waktu dengan cara yang tidak pasti dikatakan mengikuti proses stokastik [1,2]. Proses stokastik dapat diklasifikasikan sebagai proses stokastik dengan waktu diskret atau waktu kontinu. Dalam hal ini yang akan dibahas adalah proses stokastik dengan waktu kontinu untuk memodelkan harga saham.

Saham merupakan modal yang didapat perusahaan atau perseroan terbatas dari masyarakat sehingga seseorang atau badan hukum memiliki sebagian hak dari perusahaan tersebut [3]. Hal ini dilakukan karena pemilik perusahaan membutuhkan modal untuk proses produksi dalam perusahaan. Dengan menjual sahamnya, maka perusahan harus berbagi kepemilikan perusahaan tersebut dengan pemegang saham (*stockholder*), begitu pula dengan keuntungan, yang dapat berupa uang tunai, yang harus dibagi bersama.

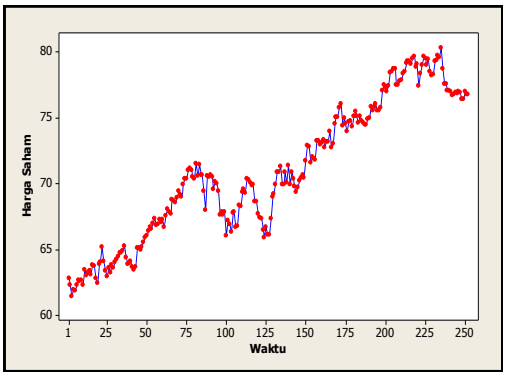
Perubahan harga saham dari waktu ke waktu sangat berpengaruh bagi para pemegang saham. Perubahan harga tersebut menentukan apakah sebuah saham akan dijual atau dibeli.

Seperti diketahui bahwa harga saham berfluktuasi seiring dengan bertambahnya waktu karena itu diperlukan suatu model untuk meramalkan harga saham untuk masa yang akan datang.

Makalah ini akan membahas pendugaan model perbahan harga saham dengan model generalisasi proses Wiener dan model ARIMA, serta pendugaan harga saham berdasarkan model yang didapat.

2 DATA HARGA SAHAM

Data yang digunakan dalam pembahasan ini adalah data harga penutupan saham Mc-Donald selama tahun 2010 [4]. Plot data selama 250 hari perdagangan sepanjang tahun 2010 tersebut diberikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Data harga saham Mc-Donald tahun 2010.

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa data harga saham memiliki karakteristik yang unik, yaitu berfluktuasi dengan trend harga meningkat seiring waktu. Dari data tersebut, 80% pengamatan digunakan untuk pendugaan parameter model, sedangkan 20% sisanya akan digunakan untuk peramalan.

3 PEMODELAN HARGA SAHAM

Model Generalisasi Proses Wiener

Misalkan proporsi perubahan harga saham diasumsikan mengikuti model generalisasi proses Wiener dengan harapan tingkat pengembalian μ dan *volatility* σ konstan [5], yaitu

$$\frac{dS}{S} = \mu\, dt + \sigma\, dz \tag{1}$$

dengan

S : harga saham pada waktu t

μ : harapan tingkat pengembalian

dt : perubahan waktu

σ : *volatility* dari harga saham

dz : proses Wiener ~ $\emptyset$ (0,1)

Untuk menduga harapan tingkat pengembalian μ, digunakan asumsi *volatility* harga saham nol, maka model (1) disederhanakan menjadi

$$\frac{dS}{S} = \mu\, dt \tag{2}$$

Selanjutnya parameter μ dapat diduga dengan regresi proporsi perubahan harga saham $\frac{dS}{S}$ terhadap perubahan waktu.

Untuk menentukan penduga *volatility* dari harga saham, dapat digunakan proses pendugaan berikut [5]. Misal didefinisikan

$$u_i = \ln\left(\frac{S_i}{S_{i-1}}\right)$$

dengan

S_i : harga akhir saham pada interval ke-i, dengan $i = 0,1,\dots,n$

n : banyaknya amatan

τ : panjang interval waktu dalam satuan tahun

Selanjutnya didefinisikan standar deviasi dari u_i, yaitu

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(u_i - \bar{u})^2}$$

dimana $\bar{u}$ adalah rata- rata dari u_i. Penduga *volatility* ditentukan sebagai

$$\hat{\sigma} = \frac{s}{\sqrt{\tau}}\ , \tag{3}$$

dengan $\tau = \frac{1}{n}$ adalah panjang interval waktu. Standard error dari pendugaan tersebut adalah

$$SE(\hat{\sigma}) = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{2n}}.$$

Dari data harga penutupan saham Mc-Donald selama tahun 2010 yang digunakan untuk pendugaan model, analisis regresi antara proporsi perubahan harga saham terhadap perubahan waktu menurut persamaan (2) dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab, sehingga didapatkan harapan tingkat pengembalian μ sebesar 0.0316. Selanjutnya, diperoleh penduga *volatility* menurut (3) sebesar

$$\hat{\sigma} = 0.1427 = 14.27\%$$

dengan standard error pendugaan adalah

$$SE(\hat{\sigma}) = 0.0071.$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas perubahan harga berdasarkan model generalisasi proses Wiener adalah

$$\frac{dS}{S} = 0.0316\, dt + 0.1427\, dz. \tag{4}$$

Model ARIMA

Selanjutnya akan dilakukan pemodelan menggunakan analisis deret waktu. Harga penutupan saham Mc-Donald meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Harga saham terendah terjadi pada bulan minggu pertama Januari 2010 (61.45) sedangkan harga saham tertinggi terjadi pada minggu pertama Desember 2010 (80.34). Plot deret waktu terhadap harga penutupan saham dari Januari 2010 hingga Desember 2010 menunjukkan perkembangan yang cenderung meningkat.

Model umum ARIMA (p, d, q) adalah [6,7]

$$\phi_p(B)(1-B)^d Z_t = \theta_q a_t$$

dengan

p : derajat *autoregressive* (AR)

d : derajat pembeda

q : derajat *moving average* (MA)

t : waktu

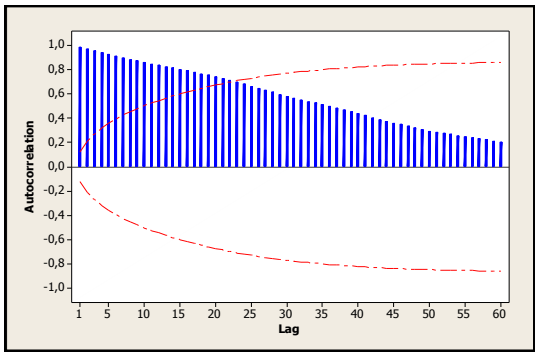
B : operator *backshift*, $B^k(Z_t) = Z_{t-k}$

ϕ_p = $\left(1 - \phi_1 B - \cdots - \phi_p B^p\right)$: parameter yang menjelaskan AR

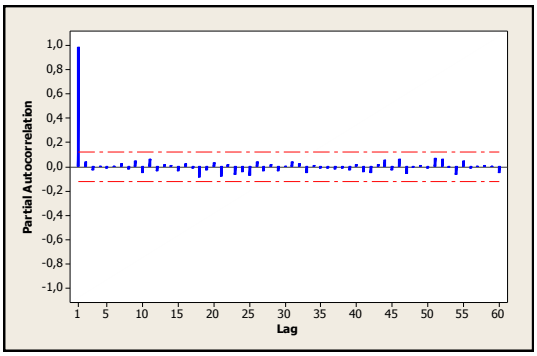
θ_q = $\left(1 - \theta_1 B - \cdots - \theta_q B^q\right)$: parameter yang menjelaskan MA

a_t : galat acak pada waktu ke-t yang diasumsikan menyebar normal bebas stokastik.

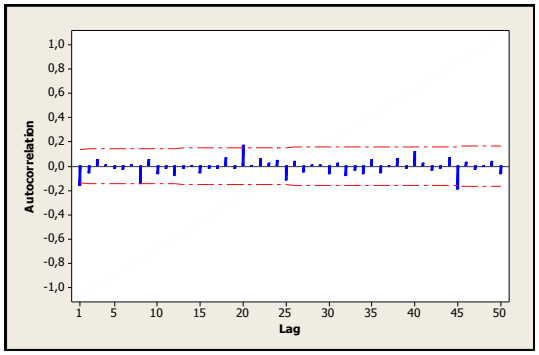
Tahap awal sebelum mengidentifikasi model ARIMA data harga pentupan saham adalah pemeriksaan kestasioneran data tersebut. Plot korelasi diri (ACF) diberikan pada Gambar 2 serta plot korelasi diri parsial (PACF) pada Gambar 3. Plot ACF menunjukkkan pola *dies down* atau turun secara eksponensial, serta plot PACF menunjukkan pola terputus setelah *lag*-1, yang menunjukkan bahwa data tidak stasioner. Karena itu dilakukan pembedaan satu kali ($d = 1$) untuk mencari output yang stasioner. Setelah dilakukan pembedaan satu kali, plot ACF pada Gambar 4 dan plot PACF pada Gambar 5 telah menunjukkan pola data stasioner, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6 bahwa plot data menunjukkan kecenderungan berada di sekitar nilai tengah nol. Karena itu tidak diperlukan pembedaan dua kali atau lebih.



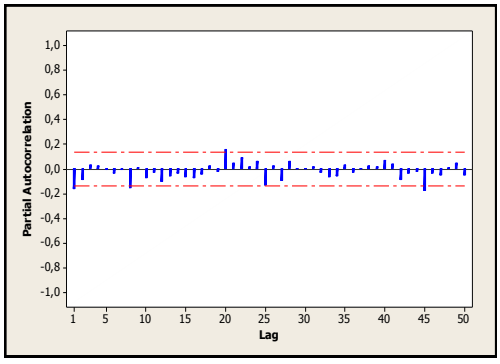
Gambar 2 Plot korelasi diri (ACF) data asal.



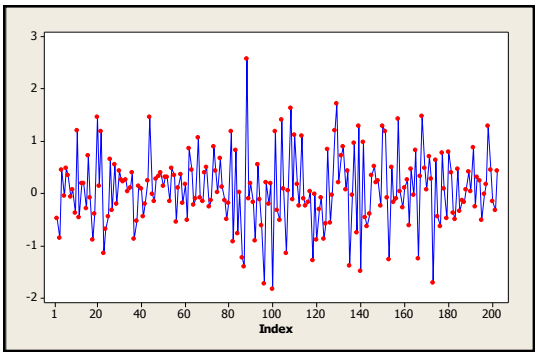
Gambar 3 Plot korelasi diri parsial (PACF) data asal.



Gambar 4 Plot korelasi diri (ACF) dengan pembedaan satu kali.



Gambar 5 Plot korelasi diri parsial (PACF) dengan pembedaan satu kali.



Gambar 6 Plot output stasioner.

Setelah data stasioner, tahap selanjutnya adalah mengidentifikasi model tentatif berdasarkan karakteristik ACF (Gambar 5) dan PACF (Gambar 6). Plot korelasi diri menunjukkan ordo-q dan plot korelasi ordo parsial menunjukkan ordo-p. Dari kedua plot tersebut ada empat model yang teridentifikasi yaitu ARIMA (1,1,0), ARIMA (2,1,0), dan ARIMA (1,1,1).

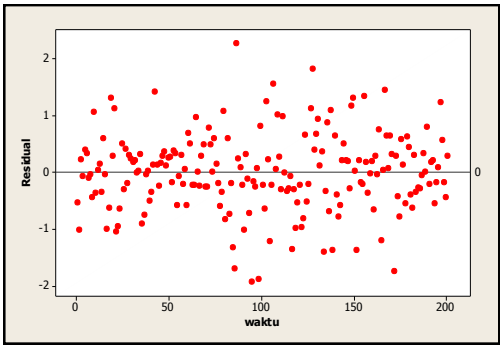
Tahap selanjutnya adalah pendugaan parameter dengan proses *trial and error*, yaitu dengan memperkecil ordo-p atau q yang mempunyai t-hitung kecil atau menambah ordo-p atau q yang mempunyai t-hitung besar sehingga diperoleh kandidat model. Hasil pendugaan parameter tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Alternatif model ARIMA tentatif untuk harga penutupan saham Mc-Donald 2010

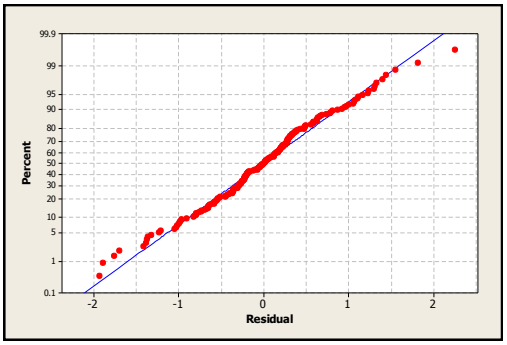
Model ARIMA	Parameter	Koefisien Parameter	Kesignifikanan parameter (nilai-p)	Uji Ljung-Box-Pierce		MS
				Lag ke-	Nilai-p	
ARIMA (1,1,0)	**Konstanta**	**0.08467**	**0.081**	**12**	**0.512**	**0.469**
	AR(1)	**-0.1611**	**0.022**	**24**	**0.484**	
				38	**0.668**	
				48	**0.514**	
ARIMA (2,1,0)	Konstanta	0.09254	0.057	12	0.409	0.4679
	AR(1)	-0.1751	0.014	24	0.252	
	AR(2)	-0.085	0.232	38	0.398	
				48	0.258	
ARIMA (1,1,1)	Konstanta	0.06418	0.059	12	0.402	0.4692
	AR(1)	0.1251	0.419	24	0.298	
	MA(1)	0.3007	0.746	38	0.47	
				48	0.325	

Tabel 1 memperlihatkan bahwa model yang memiliki parameter yang nyata adalah ARIMA (1,1,0) karena nilai-p koefisien AR = 0.022, kurang dari α= 0.05. ARIMA (2,1,0) memiliki nilai *MS* lebih kecil, namun nilai-p kofisien AR(2)= 0.232, melebihi nilai α. Koefisien parameter AR (1) pada model ARIMA (1,1,0) yaitu -0.1611, merupakan konstanta untuk model peramalan.

Setelah didapatkan model terbaik, selanjutnya adalah diagnostik terhadap model sisaan. Pengujian Ljung-Box-Pierce (uji kelayakan model) pada Tabel 1 menunjukkan nilai korelasi diri sisaan tidak berbeda nyata dengan nol pada semua *lag*-nya (nilai-p lebih dari α), artinya model ARIMA (1,1,0) adalah layak. Hal tersebut juga dapat dilihat secara visual, yaitu dapat dilihat pada Gambar 7 bahwa plot residual terhadap waktu sudah tidak memiliki pola tertentu atau sudah bersifat acak. Selain bersifat acak, sisaan harus normal. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 yang menunjukkan bahwa plot kenormalan cenderung lurus, yang berarti bahwa sisaan mengikuti sebaran normal.



Gambar 7 Plot Residual Model ARIMA.



Gambar 8 Plot kenormalan sisaan model ARIMA.

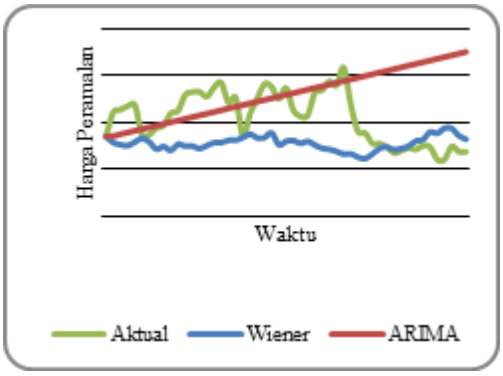
Dengan demikian asumsi keacakan dan kenormalan terpenuhi. Maka model ARIMA (1,1,0) merupakan model terbaik untuk meramalkan harga penutupan saham Mc-Donald. Model tersebut adalah

$$Z_t = 0.08467 + 0.8389\, Z_{t-1} \tag{5}$$

Peramalan dan Pembandingan

Peramalan dengan model Wiener dapat dilakukan dengan simulasi Monte Carlo sederhana menggunakan persamaan (4). Sedangkan peramalan dengan model ARIMA

dilakukan dengan mengolah persamaan (5). Plot hasil permalan beserta data aktualnya disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Plot data aktual, hasil peramalan model Wiener dan ARIMA.

Dari plot data aktual, data peramalan model Wiener dan Model ARIMA pada Gambar 9, diketahui pola data aktual lebih mirip dengan model Wiener dibandingkan dengan model ARIMA yang cenderung memiliki pola *trend* linier. Peramalan dengan model Wiener masih mempertimbangkan fluktuasi sehingga peramalannya lebih mendekati data yang sebenarnya. Selain itu model ARIMA mengikuti proses deterministik yang tidak memperhitungkan peluang, sehingga terlihat bahwa peramalannya cenderung linier mengikuti garis lurus.

Validasi model diperlukan untuk melihat keakuratan model, yaitu membandingkan antara data aktual dengan data peramalan yang dihasilkan oleh model. Validasi dilakukan dengan nilai MAPE. Nilai MAPE hasil peramalan dengan model Wiener adalah 0.0172797 sedangkan pada model ARIMA sebesar 0.020014. Nilai MAPE model Wiener lebih kecil dibandingkan dengan model ARIMA, hal tersebut menunjukkan bahwa model Wiener lebih baik untuk memodelkan harga saham dibandingkan model ARIMA.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Harga saham dimodelkan dengan menggunakan model generalisasi proses Wiener serta model ARIMA. Model generalisasi proses Wiener merupakan model stokastik,

sedangkan ARIMA adalah model deterministik. Karena harga saham sendiri dipengaruhi oleh peluang maka akan lebih cocok jika dimodelkan menggunakan generalisasi proses Wiener. Hal tersebut dapat dilihat pada hasil peramalan yang menunjukkan bahwa model Wiener sedikit lebih baik dalam peramalan harga saham. Hasil peramalan menggunakan model ARIMA kurang memuaskan, mungkin dikarenakan adanya faktor stokastik yang tidak dipertimbangkan dalam model.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Grimmett GR, Stirzaker DR. 1992. *Probability and Random Processes*. 2nd edition. Oxford: University Press.

[2] Ghahramani S. 2005. *Fundamentals of Probability*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.

[3] Bodie Z, Kane, Marcus. 2005. Investments. 6th Edition. New York: McGraw Hill/Irwin.

[4] http://finance.yahoo.com/q/hp?s=MCD+Historical+Prices [18February2011]

[5] Hull JC. 2006. *Options, Futures, and Other Derivatives*. 6th edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

PENGARUH WAKTU PENYIMPANAN STOK MODAL PADA SIKLUS BISNIS KALDOR-KALECKI

Ali Kusnanto[1)], Nurrachmawati[2)], Toni Bakhtiar[3)]
[1,2,3)]Departemen Matematika FMIPA-IPB, Bogor
email:alikusnanto@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam perusahaan bidang pertanian, waktu penyimpanan stok modal, merupakan salah satu masalah yang cukup penting. Dalam penelitian ini dipelajari dinamika pendapatan kotor suatu perusahaan dengan stok modal yang memenuhi asumsi yang diberikan dalam model Kaldor-Kalecki. Dengan mengubah waktu penyimpanan stok modal, akan diperoleh suatu solusi periodik. Teorema Bifurkasi Hopf digunakan untuk menentukan eksistensi solusi periodik dan keberadaansiklus limit (*limit cycle*) dari sistem ini. Pada model ini, ditunjukkan bahwa parameter koefisien penyesuaian harga di pasar barang dapat mengakibatkan munculnya kestabilan baru dan terjadinya bifurkasi Hopf serta adanya siklus limit dalam dinamika tersebut. Terjadinya bifurkasi hopf ini dilakukan dengan mengubah koefisien penyesuaian di pasar barang dari lebih kecil menjadi lebih besar dari koefisien penyesuaian di pasar barang yang telah ditetapkan.

Kata kunci :model *Kaldor-Kalecki*, kestabilan, bifurkasi *Hopf*, *limit cycle*

1 PENDAHULUAN

Model Kaldor-Kalecki merupakan pengembangan dari model siklus bisnis IS-LM. Model IS-LM merupakan suatu model dalam bidang ekonomi yang melibatkan fungsi investasi (I), fungsi simpanan (S), permintaan uang (L), dan persediaan uang (M). Sedangkan model Kaldor-Kalecki merupakan model bisnis perusahaan yang melibatkan stok modal (K) dan pendapatan kotor (Y) [1]. Dalam perusahaan bidang pertanian, waktu penyimpanan stok modal, merupakan salah satu masalah yang cukup penting. Hal ini diakibatkan karena penggunaan stok modal yang salah akan berpengaruh terhadap kualitas barang karena biasanya barang-barang bidang pertanian tidak bertahan lama.

Dalam penelitian ini dianalisis model bisnis Kaldor-Kalecki dengan waktu tunda. Waktu tunda direpresentasikan sebagai waktu penyimpanan akumulasi modal sebelum digunakan dalam investasi. Waktu tunda dalam model siklus bisnis merupakan hasil dari

interval waktu yang diperlukan antara keputusan berinvestasi dan pemasangan investasi modal [1].

Beberapa teknik umum dalam teori bifurkasi akan dipakai untuk menganalisis model siklus bisnis ini. Salah satu alat yang digunakan adalah teorema bifurkasi dari *Poincar´e–Andronov–Hopf*, yang disebut teorema bifurkasi Hopf. Bifurkasi Hopf digunakan untuk menentukan eksistensi orbit periodik dan*limit cycle* dari suatu sistem, menjamin keberadaan dan keunikan solusi periodik ([2], [3]), serta dapat menunjukkan bahwa dinamika kondisi pendapatan kotor dan stok modal suatu perusahaan dapat digambarkan dalam model Kaldor-Kalecki [1].

2 METODOLOGI

Siklus bisnis Kaldor-Kalecki, nama untuk Nicholas Kaldor dan Michal Kalecki, adalah suatu sistem dinamik dalam bidang ekonomi yang direpresentasikan sebagai sistem persamaan diferensial tundaan. Kalecki menerangkan bahwa waktu tunda dalam model siklus bisnis merupakan hasil dari interval waktu yang diperlukan antara keputusan berinvestasi dan pemasangan investasi modal [1].

Model siklus bisnis Kaldor-Kalecki yang melibatkan fungsi pendapatan kotor dan fungsi stok modal adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dY}{dt} &= \alpha\left[I\big(Y(t),K(t)\big) - S\big(Y(t),K(t)\big)\right] \\ \frac{dK}{dt} &= I\big(Y(t-T),K(t)\big) - \delta K(t) \end{aligned} \tag{1}$$

dengan

$Y(t)$	pendapatan kotor pada waktu t
$K(t)$	stok modal pada waktu t
$I\big(Y(t),K(t)\big)$	fungsi investasi
$S(Y(t),K(t))$	fungsi simpanan
$I(Y(t-T),K(t))$	fungsi investasi dengan waktu tunda
α	koefisien penyesuaian di pasar barang ($\alpha > 0$)
δ	tingkat depresiasi stok modal ($\delta\epsilon(0,1)$)
T	waktu tunda ($T \geq 0$)

Dari model di atas didefinisikan bahwa laju pendapatan kotor diperoleh dari fungsi investasi yang dikurangi dengan fungsi simpanan. Hasil dari pengurangan tersebut yang apabila dikalikan dengan koefisien penyesuaian di pasar barang, merupakan laju pendapatan kotor yang dihasilkan. Laju stok modal diperoleh dari fungsi investasi dengan waktu tunda yang dikurangi dengan depresiasi stok modal.

Dengan mengasumsikan bahwa fungsi investasi merupakan fungsi taklinear dan waktu tunda (T) adalah konstanta, sistem tersebut merupakan suatu persamaan diferensial tundaan. Ini berarti bahwa perilaku aktual dari sistem tergantung pada keputusan-keputusan investasi di masa sebelumnya.

Pada model (1) dilakukan beberapa asumsi agar diperoleh model yang dapat diimplementasikan. Misalkan fungsi investasinya adalah$I(Y,K) = I(Y) + I(K)$di mana $I(K)$linear, $I_K = \beta\epsilon(-1,0)$, sehingga $I(Y,K) = I(Y) + \beta K$. Fungsi simpanan $S(Y,K)$di mana $S(Y)$linear, $S_Y = \gamma\epsilon(0,1)$, maka model (1) menjadi:

$$\begin{aligned} \dot{Y} &= \alpha I\big(Y(t)\big) + \alpha\beta K(t) - \alpha\gamma Y(t) \\ \dot{K} &= I\big(Y(t-T)\big) + (\beta - \delta)K(t) \end{aligned} \tag{2}$$

dengan

β laju investasi terhadap stok modal
γ laju simpanan terhadap pendapatan kotor

Misalkan (Y^*,K^*) adalah titik tetap, di mana $\dot{Y} = \dot{K} = 0$.Dengan melakukan transformasi koordinat yaitu$y = Y - Y^*$, $k = K - K^*$, $i = I - I^*$ dan $s = S - S^*$, diperoleh model sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{y} &= \alpha[i\big(y(t)\big) + \beta k(t) - \gamma y(t)] \\ \dot{k} &= i\big(y(t-T)\big) + (\beta - \delta)k(t) \end{aligned}. \tag{3}$$

Suku dengan waktu tunda, $i(y(t-T))$ dihampiri melalui ekspansi Taylor, yaitu:

$$\begin{aligned} i\big(y(t-T)\big) \approx i(y - T\dot{y}) &= i(y) - Ti_y\dot{y} \\ &= i(y) - \alpha Ti_y[i(y(t)) + \beta k(t) - \gamma y(t)]. \end{aligned} \tag{4}$$

Dalam pendekatan yang dilakukan pada (4) di atas, sistem (3) direduksi menjadi bentuk dua dimensi sistem dinamik otonom, di mana: $i_y = I_y(Y^*) = i_y(0)$. Laju perubahan fungsi investasi dievaluasi pada saat pendapatan kotor (y) sebesar nol.Hal tersebut

menjelaskan bahwa laju perubahan fungsi investasi bersifat konstan dan tidak bergantung pada y, sehingga sistem menjadi:

$$\dot{y}(t) = \alpha[i(y) - \gamma y + \beta k]$$
$$\dot{k}(t) = i(y) - \alpha T i_y(0)[i(y) - \gamma y + \beta k] + (\beta - \delta)k. \quad (5)$$

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Titik Tetap dan Kestabilan

Titik tetap dari model (5) adalah

$$Q = (y, k) = \left(\frac{i(y)}{\gamma} - \frac{\frac{i(y)\beta}{(\beta - \delta)}}{\gamma}, -\frac{i(y)}{(\beta - \delta)} \right).$$

Bentuk umum dari titik tetap tidak mengandung parameter waktu tunda.Berikut akan dianalisis dengan waktu tunda. Dari pelinearan didapatkan matriks Jacobi sebagai berikut:

$$A = \begin{pmatrix} \alpha\big(i_y(0) - \gamma\big) & \alpha\beta \\ i_y(0) - \alpha T i_y(0)\big(i_y(0) - \gamma\big) & (\beta - \delta) - \alpha\beta T i_y(0) \end{pmatrix}$$

dengan nilai
$$\begin{aligned} \operatorname{tr} A &= \alpha(i_y(0) - \gamma) + \beta - \delta - \alpha\beta T i_y(0) \\ \det A &= \alpha\delta(\gamma - i_y(0)) - \alpha\beta\gamma \end{aligned}$$

Dalam model Kaldor-Kalecki ini sebagian tabungan dari keuntungan investasi dan penambahan modal adalah karena keputusan investasi dimasa lalu, maka diperlukan masa persiapan atau penundaan sampai perlengkapan modal tersedia dan siap untuk digunakan. Nilai waktu penundaan ini dipilih T_{bif} yaitu $T_{bif} = \frac{\alpha\big(i_y(0)-\gamma\big)+(\beta-\delta)}{\alpha\beta i_y(0)}$.

Untuk mengetahui jenis kestabilan titik tetap pada model siklus bisnis Kaldor-Kalecki dengan waktu tunda, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Jenis Kestabilan

Kasus	$\gamma > i_y(0)$	$\gamma = i_y(0)$	$\gamma < i_y(0)$
$T = T_{bif}$	*Center* atau spiral	*Center* atau spiral	*Center* atau spiral
$T < T_{bif}$	Spiral stabil	Spiral stabil	Spiral stabil
$T > T_{bif}$	Spiral takstabil	Spiral takstabil	Spiral takstabil

3.2 Simulasi

Untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai parameter γ terhadap jenis kestabilan titik tetap, dapat dilihat pada Tabel 2.

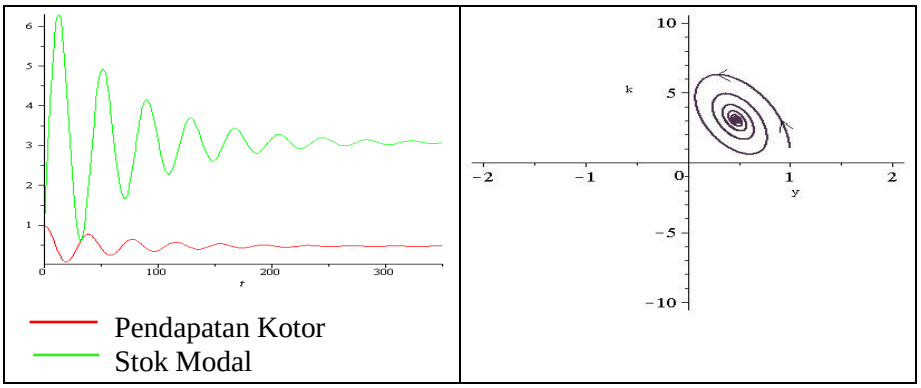
Tabel 2 Perubahan Nilai Parameter γ

Parameter	Simulasi			
	1	2	3	4
$i_y(0)$	0.25	0.25	0.25	0.25
α	0.25	0.25	0.25	0.25
β	−0.1	−0.1	−0.1	−0.1
δ	0.1	0.1	0.1	0.1
$\boldsymbol{\gamma}$	**0.65**	**0.17**	**0.125**	**0.01**
Jeniskestabilan	Spiral stabil	Simpul stabil	*Simple degenerate*	Sadel

Dalam simulasi ini akan diberikan nilai fungsi investasi yaitu $(y) = \frac{e^y}{e^y+1}$. Nilai parameter koefisien penyesuaian di pasar barang α sebesar 0.25, tingkat depresiasi stok modal δ sebesar 0.1, laju investasi terhadap stok modal β sebesar −0.1.

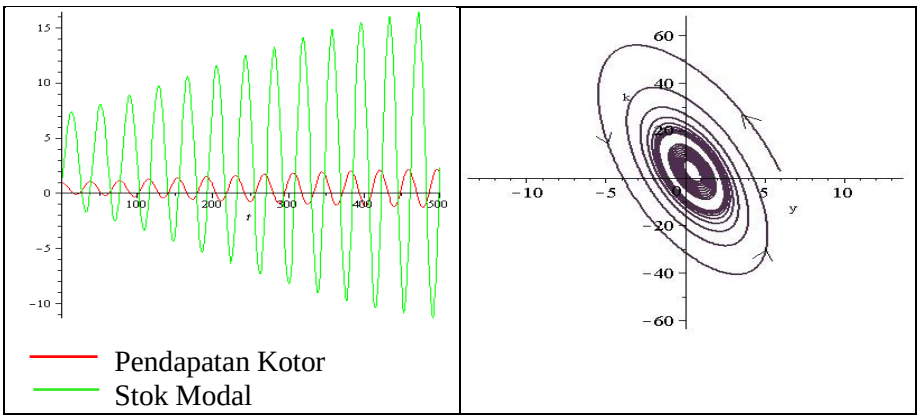
Simulasi 1:$\boldsymbol{\gamma = 0.65}$

Diperoleh nilai T_{bif} yaitu 48. Titik tetap berupa spiral stabil pada saat $T < T_{bif}$. Pada Gambar 1 dapat dilihat bidang solusi dan bidang fase. Dari bidang solusi dengan memberikan nilai awal $y(0)$=1 dan $k(0)$=1, dapat dilihat pendapatan kotor dan stok modal akan berisolasi di awal kemudian menuju kestabilan. Dari plot bidang fase, dengan titik tetap yaitu (0.562, 3.655) menujukkan posisi perusahaanakan stabil.



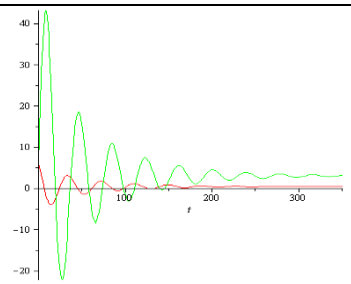
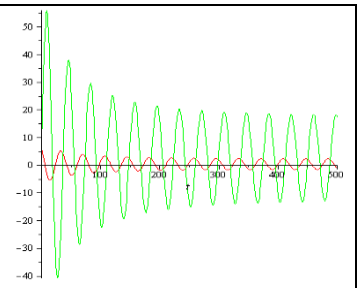
Gambar 1 Bidang Solusi dan Bidang Fase untuk $\boldsymbol{\gamma = 0.65}$.

Titik tetap berupa spiral takstabil pada saat $T > T_{bif}$. Pada Gambar 2 dapat dilihat bidang solusi dan bidang fase. Dari bidang solusi, pendapatan kotor dan stok modal akan terus berisolasi menuju *limit cycle* sampai periode waktu tertentu, tidak stabil.



Gambar 2 Bidang Solusi dan Bidang Fase pada saat $T > T_{bif}$.

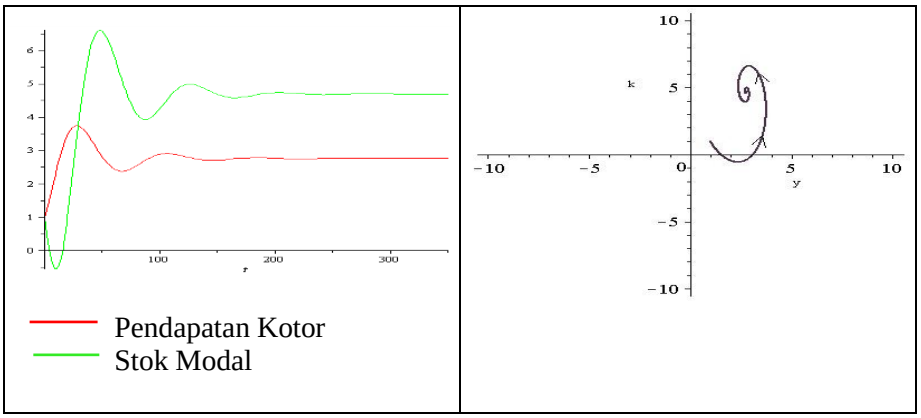
Dari plot bidang fase, dengan titik tetap yaitu (0.562, 3.655) posisi perusahaan menjadi tidak stabil dan terdapat *limit cycle* stabil. Pada gambar 3 akan diperlihatkan bidang solusi dengan memberikan nilai awal yang berbeda dari bidang solusi pada T sebelumnya. Dengan memberikan nilai awal *y*(0)=6 dan *k*(0)=3, dari gambar dapat dilihat bahwa pada saat $T = 44$ dinamika pendapatan kotor dan stok modal cenderung mengalami penurunan sampai ke angka negatif di awal kemudian akan stabil pada waktu tertentu. Hal tersebut menjelaskan bahwa dengan mengambil nilai awal tersebut, perusahaan akan mengalami kerugian di awal lalu perusahan akan mencapai kondisi yang stabil. Sedangkan pada saat $T = 50$, kondisi perusahaan yaitu pendapatan kotor dan stok modal tidak stabil dan akan menuju *limit cycle* seperti dapat dilihat pada Gambar 3.

$T = 44$		$T = 50$	 ~~Pen~~dapatan Kotor ~~Stok~~ Modal

Gambar 3 Bidang Solusi dan Bidang Fase pada saat $T < T_{bif}$.

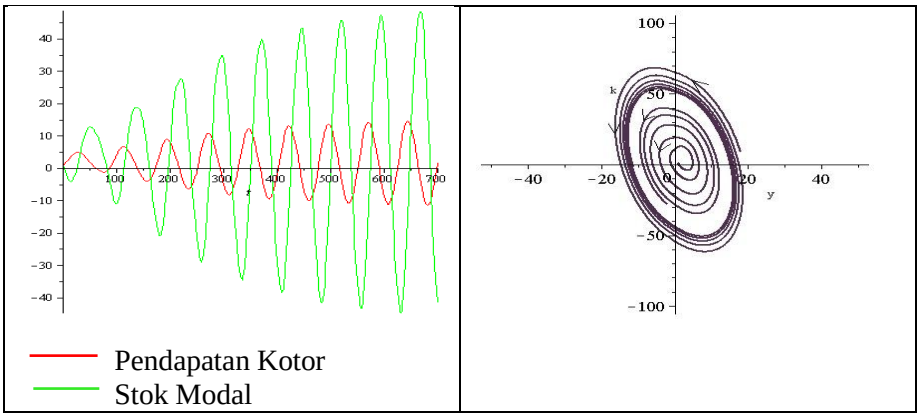
Simulasi 2:$\boldsymbol{\gamma = 0.17}$

Diperoleh nilai T_{bif} yaitu 28.8. Titik tetap berupa spiral stabil pada saat $T < T_{bif}$. Pada Gambar 4 dapat dilihat bidang solusi dan bidang fase. Dari bidang solusi dapat dilihat pendapatan kotor dan stok modal akan berisolasi di awal kemudian menuju kestabilan. Dari plot bidang fase, dengan titik tetap yaitu (2.150,3.655) posisi perusahaan akan stabil.



Gambar 4 Bidang Solusi dan Bidang Faseuntuk$\boldsymbol{\gamma = 0.17}$.

Titik tetap berupa spiral takstabil pada saat $T > T_{bif}$. Pada Gambar 5 dapat dilihat bidang solusi dan bidang fase. Dari bidang solusi, pendapatan kotor dan stok modal akan terus berisolasi menuju *limit cycle* sampai periode waktu tertentu, tidak stabil.

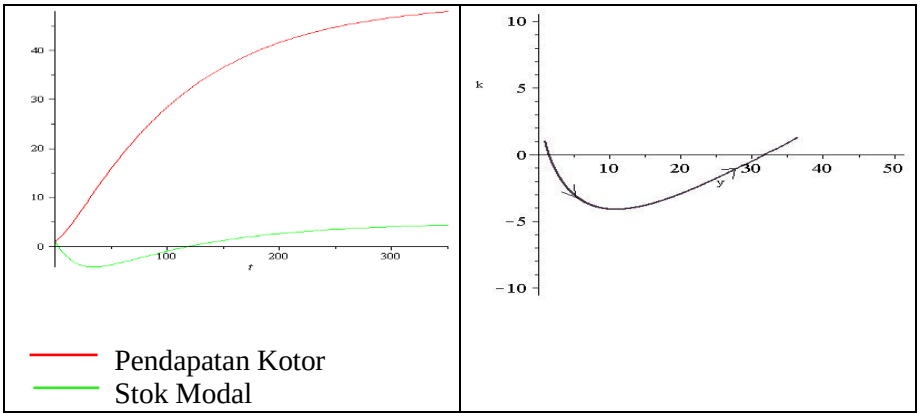


Gambar 5 Bidang Solusi dan Bidang Fase pada saat $T > T_{bif}$.

Dari plot bidang fase, dengan titik tetap yaitu (2.150,3.655) posisi perusahaan menjadi tidak stabil dan terdapat *limit cycle* stabil.

Simulasi 3:$\boldsymbol{\gamma = 0.125}$

Diperoleh nilai T yaitu 22.4. Untuk simulasi tersebut diperoleh bidang solusi dan bidang fase pada Gambar 6.Dari Gambar 6, pada bidang solusi dapat dilihat pendapatan kotor dan stok modal akan terus meningkat seiring dengan penambahan waktu. Pada simulasi ini tidak terjadi bifurkasi Hopf karena nilai det yang di dapat adalah negatif yaitu -0.006. Dari plot bidang fase, dengan titik tetap yaitu (36.553, 3.655), perusahaan berada pada posisi tidak stabil.



Gambar 6 Bidang Solusi dan Bidang Fase untuk$\boldsymbol{\gamma = 0.125}$.

5 SIMPULAN

Siklus bisnis Kaldor-Kalecki tanpa waktu tunda dapat terjadi bifurkasiHopf dengan mengubah parameter koefisien penyesuaian di pasar barang dari kecil menjadi besar dari batas koefisien penyesuaian di pasar barang yang telah ditetapkan.Hal ini menyebabkan terjadinya pertukaran kestabilan titik tetap dan adanya siklus limit (*limitcycle*) dalam dinamika siklus bisnis tersebut. Titik tetap yang semula memiliki kestabilan spiral stabil menjadi spiral takstabil dan terdapat *limit cycle* didalamnya, sehingga terjadi bifurkasi Hopf. Dengan menetapkan fungsi investasi, fungsi simpanan, dan tingkat depresiasi stok modal akan diperoleh suatu nilai koefisien penyesuaian di pasar barang saat terjadinya bifurkasi Hopf. Dari simulasi. dengan mengambil nilai koefisien penyesuaian di pasar barang kecil dan sama dengan dari koefisien penyesuaian di pasar barang saat terjadinya bifurkasi, maka kestabilan titik tetap spiral stabil. Hal ini berarti posisi suatu perusahaan yaitu pendapatan kotor dan stok modal berada pada posisi stabil. Dengan mengambilnilai koefisien penyesuaian di pasar barang besar dari koefisien penyesuaian di pasar barang saat terjadinya bifurkasi, maka kestabilan titik tetap spiral takstabil, perusahaan berada pada posisi tidak stabil.

Siklus bisnis Kaldor-Kalecki dengan waktu tundanol, menghasilkan jenis kestabilan titik tetap berupaspiral stabil, simpul stabil, *simple degenerate* dan sadel. Untuk titik tetap simpul stabil, spiral stabil dan *simple degenerate*,erusahaan berada pada posisi stabil. Sedangkan untuk jenis kestabilan sadel, perusahaan berada pada posisi tidak stabil.

Siklus bisnis Kaldor-Kalecki dengan waktu tunda tidak nol,dengan menetapkan fungsi investasi, koefisien penyesuaian di pasar barang, laju investasi terhadap stok modal, laju simpanan terhadap pendapatan kotor dan tingkat depresiasi stok modal akan diperoleh suatu nilai waktu tunda saat terjadinya bifurkasi Hopf. Dengan mengubah parameter waktu tunda dari kecil menjadi besar dari batas waktu tunda yang telah ditetapkan menyebabkan terjadinyabifurkasi Hopf. Dari simulasi, pada saat waktu tunda diubah menjadi kecildan sama dengan waktu tunda saat terjadinya bifurkasi, perusahaan berada pada posisi stabil. Pada saat waktu tunda diubah menjadi besar dari waktu tunda saat terjadinya bifurkasi, perusahaan berada pada posisi tidak stabil. Posisi awal berpengaruh terhadap untung atau ruginya perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Krawiec A, Szydlowski M.2001. The Kaldor-Kalecki Model of Bisnis Cycle as a Two-Dimensional Dynamical System. *Nonlinear Mathematical Physics* 8 : 288-271.

[2] Strogatz SH. 1994. *Nonlinear Dynamic and Chaos with Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. Massachusetts: Perseus Books Publishing, LLC.

[3] Wiggins S. 1990. *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical System and Chaos*. New York: Springer-Verlag.

PENGEMBANGAN WebGIS KAMPUS IPB DARMAGA

Hari Agung[1], Windy Deliana Khairani[2]
[1,2] Departemen Ilmu Komputer, FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
agung@ipb.ac.id

ABSTRAK

Area kampus IPB yang luas, serta bentuk bangunan yang mirip menjadi suatu kendala bagi masyarakat untuk melakukan pencarian ruangan di Kampus IPB Darmaga. Untuk memudahkan masyarakat mencari ruangan, maka dibangun sebuah Sistem Informasi Geografis Kampus IPB Darmaga yang dinamis dan mudah diakses. Saat ini, peta IPB Darmaga masih bersifat statis, seperti yang terlihat pada situs www.ipb.ac.id/peta. Data gedung dan ruangan diperolah dari Direktorat Properti IPB dalam bentuk format Autocad (.dwg), untuk selanjutkan dikonversi ke format shapefile dan disimpan ke dalam basisdata spasial menggunakan PostgreSQL. Data ruangan yang dapat ditampilkan mencakup (i) Gedung FAPERTA level 3, 4, 5, 6 yang di dalamnya juga terdapat ruangan FMIPA, FEMA, serta sebagian ruangan FEM, (ii) Ruangan FMIPA yang terdapat di gedung FPIK dan FAPET, (iii) Gedung FEM Rektorat dan (iv) Gedung-gedung fasilitas umum seperti gedung Perpustakaan, GWW, dan Rektorat. Sistem ini dikembangkan menggunakan Arcview 3.3 untuk mengolah data spasial, MapServer untuk mengembangkan sistem berbasis web dan PostgreSQL sebagai perangkat Basisdata Management System (DBMS). Fungsi-fungsi operasi peta yang dimiliki sistem ini adalah (i) menampilkan peta ruangan kampus IPB Darmaga, (ii) memilih layer aktif peta yang diinginkan pengguna, (iii) menampilkan menu legenda yang berisi simbol dan keterangan dari layer yang ingin ditampilkan, (iv) menampilkan menu navigasi, (v) melakukan proses pencarian lokasi ruangan berdasarkan pilihan pengguna, (vi) dapat melakukan konversi peta dalam bentuk PDF maupun HTML dan (vii) print preview peta dalam skala tertentu.

Kata Kunci*:* WebGIS, Mapserver

1 PENDAHULUAN

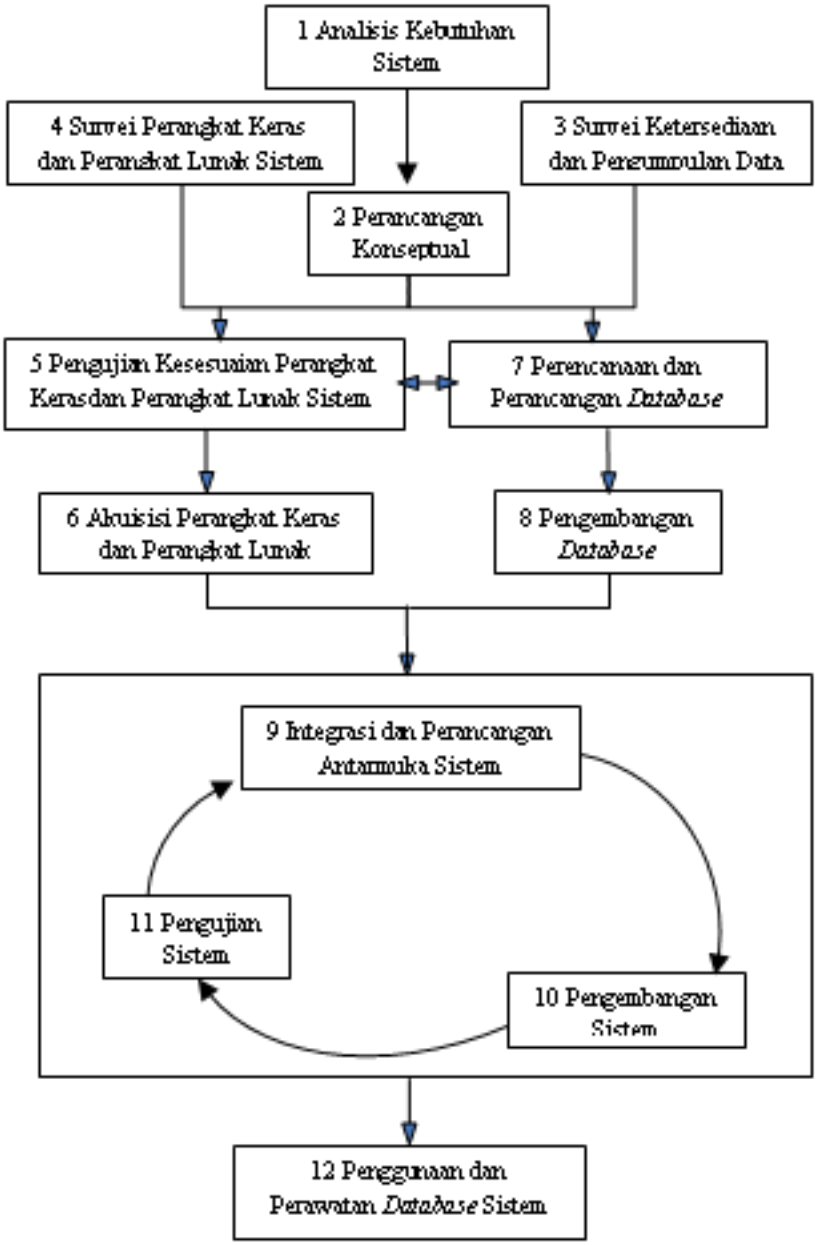
Area Kampus IPB yang luas, serta bentuk bangunan yang identik menjadi suatu masalah bagi masyarakat untuk melakukan pencarian ruangan di Kampus IPB Darmaga. Untuk memudahkan masyarakat mencari ruangan, maka dibangun sebuah Sistem Informasi Geografis Kampus IPB Darmaga yang dinamis dan mudah diakses. Saat ini, peta IPB Darmaga masih bersifat statis, seperti yang terlihat pada situs www.ipb.ac.id/peta. Usaha untuk membuat sistem yang dapat menyajikan peta Kampus IPB Darmaga secara dinamis telah dimulai sejak 2004 menggunakan perangkat lunak Mapserver dan data dalam format

shapefile yang didapat sebagai hasil digitasi layar [1]. Untuk menampilkan peta digital IPB yang lebih rinci dicobakan pengembangan sistem dengan data pada tingkat Fakultas [2] serta memiliki fungsi pencarian hingga tingkat ruangan [3] dengan konfigurasi sistem yang dinamis [4].

Meskipun sistem yang telah dihasilkan diatas telah memiliki fungsi yang memadai, namun data geometri bentuk bangunan dan ruangan kurang teliti serta memerlukan banyak waktu dan tenaga untuk mempersiapkannya. Untuk itu data yang digunakan dalam penelitian ini mengambil hasil rancangan teknis ruangan kampus bentuk format Autocad (.dwg) yang telah dimiliki oleh Direktorat Fasilitas dan Properti IPB. Data .dwg tersebut akan diolah dan disimpan dalam sistem manajemen basisdata PostgreSQL. Data ruangan untuk semua *layer* akan disimpan dalam satu table yang sama. sehingga memungkinkan kueri yang lebih baik.

2 METODOLOGI

Tahapan pengembangan sistem mengacu pada GIS Development Guide yang dikeluarkan oleh Departement of Geography University at Buffalo [5], namun disesuaikan dengan penelitian yang telah dilakukan. Penyesuaian yang dilakukan terdapat pada tahapan 9, 10, dan 11. Ketiga tahap ini dilakukan secara berulang sampai didapatkan sistem yang diharapkan. Perulangan ini dilakukan jika tahap Pengujian Sistem telah selesai, namun masih diperlukan perbaikan sistem. Metode penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Penelitian

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengembangan sistem pada setiap tahapannya dapat dijelaskan sebagai berikut

3.1 Analisis Kebutuhan

Hasil analisis kebutuhan sistem dinyatakan dalam deskripsi sistem dan kebutuhan fungsional perangkat lunak dan spesifikasi pengguna.

- Deskripsi Sistem

  GIS Kampus IPB Darmaga adalah suatu Sistem Informasi Geografis (SIG) berbasis web yang menyajikan pemetaan ruangan kampus IPB Darmaga. Sistem ini diharapkan dapat mengatasi masalah proses pencarian ruangan di kampus IPB Darmaga

- Kebutuhan Fungsional Perangkat Lunak

  Fungsi-fungsi umum yang dimiliki sistem ini :

  1. Menyajikan informasi tentang profil IPB meliputi informasi tentang sejarah dan fakultas yang ada di kampus IPB.
  2. Menyediakan fasilitas buku tamu.
  3. Pengelolaan basisdata yang hanya dapat dilakukan oleh administrator.

  Fungsi-fungsi operasi peta yang dimiliki sistem ini :

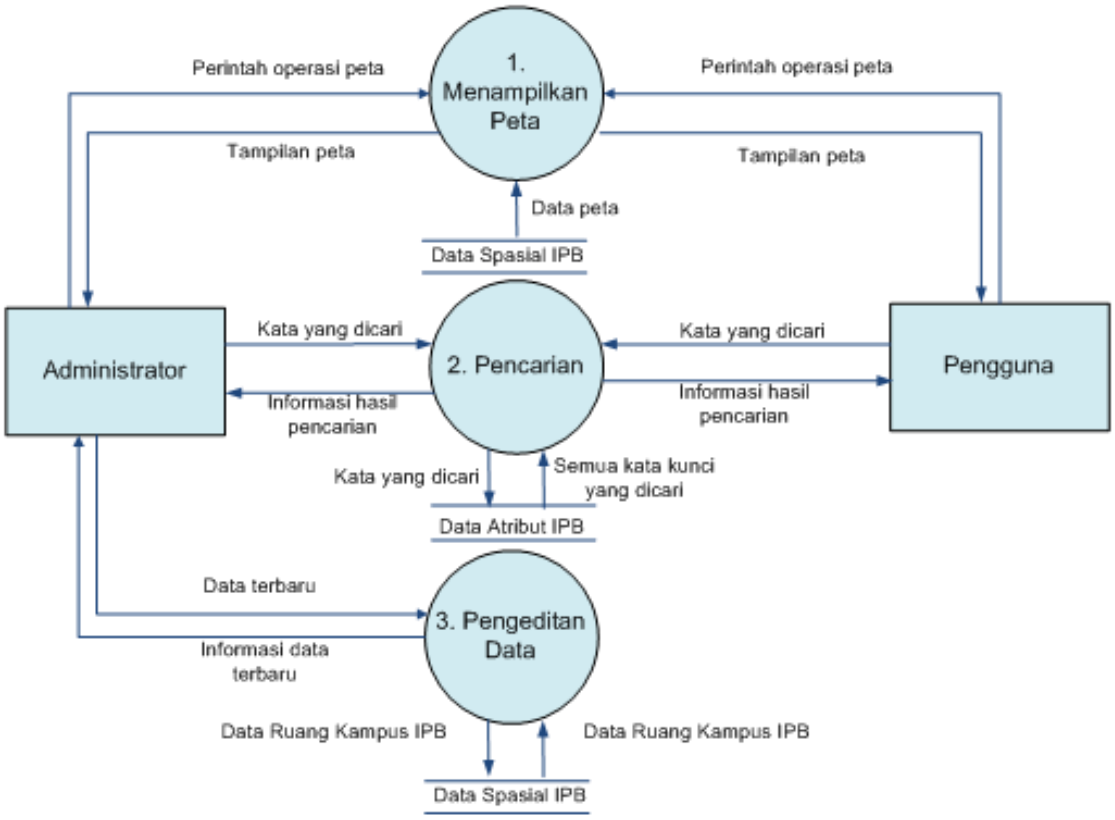
  1. Menampilkan peta ruangan kampus IPB Darmaga
  2. Memilih layer aktif peta yang diinginkan pengguna
  3. Menampilkan menu legenda yang berisi simbol dan keterangan dari layer yang ingin ditampilkan
  4. Menampilkan menu navigasi, seperti *zoom to full extent, back, forward, zoom in, zoom out, pan, identify, select, auto identify, refresh, map, measure, add point of interest*
  5. Melakukan proses pencarian lokasi ruangan berdasarkan pilihan pengguna
  6. Dapat melakukan konversi peta dalam bentuk PDF maupun HTML
  7. *Print preview* peta dalam skala tertentu.

- Spesifikasi Pengguna

  Pengguna sistem ini dibagi menjadi dua kategori yaitu administrator dan pengguna biasa. Penggolongan ini dilakukan berdasarkan tanggung jawab dan hak akses yang dimiliki masing-masing pengguna terhadap sistem.

3.2 Perancangan Konseptual

Perancangan konseptual meliputi perancangan konseptual basisdata dan desain proses dari sistem. Dalam perancangan konseptual basisdata ditetapkan data yang diperlukan adalah data spasial dan data atribut denah kampus IPB Darmaga yang meliputi : kode ruangan, nama ruangan, departemen, fakultas, level, serta wing. Sedangkan desain proses dari sistem dimodelkan dengan *data flow diagram* (DFD) seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 DFD Level 1 .

3.3 Survei Ketersediaan dan Pengumpulan Data

Dari survei ketersediaan dan pengumpulan data didapatkan data spasial dan data atribut denah kampus IPB Darmaga dalam bentuk file autocad (.dwg) yang diperoleh dari Direktorat Fasilitas dan Properti IPB dan informasi sekilas tentang IPB yang diperoleh dari www.ipb.ac.id.

Data peta yang diperoleh yaitu

- Gedung FAPERTA level 3, 4, 5, 6 yang di dalamnya juga terdapat ruangan FMIPA, FEMA, serta sebagian ruangan FEM.
- Ruangan FMIPA yang terdapat di gedung FPIK dan FAPET
- Gedung FEM Rektorat
- Gedung-gedung fasilitas umum seperti gedung Perpustakaan, GWW, dan Rektorat

3.4 Survei, Pengujian Kesesuaian serta Akuisisi Perangkat Lunak dan Perangkat Keras

Jenis perangkat lunak yang dibutuhkan untuk implementasi sistem adalah :

1. Perangkat lunak dengan pengembangan sistem berbasis web. Perangkat lunak yang tersedia di antaranya MapServer dan ArcIMS. Dari hasil pengujian kesesuaian sistem maka dipilih MapServer -5.6.5-1 karena handal dan terbuka.
2. Perangkat lunak untuk membuat data spasial. Perangkat lunak yang tersedia di antaranya Arcview, Map Info dan Quantum GIS. Dalam pengembagan sistem ini yang digunakan adalah QuantumGIS karena dapat mengolah shapefile dan mengatur mapfile yang diperlukan oleh MapServer
3. Perangkat lunak sebagai Sistem Manajemen Basisdata (Database Management System, DBMS). Perangkat lunak yang tersedia di antaranya Microsoft SQL Server, MySQL, dan PostgreSQL. Agar DBMS mendukung data spasial dan dapat lintas-platform maka dipilih PostgreSQL-8.4 dengan PostGIS-1.5

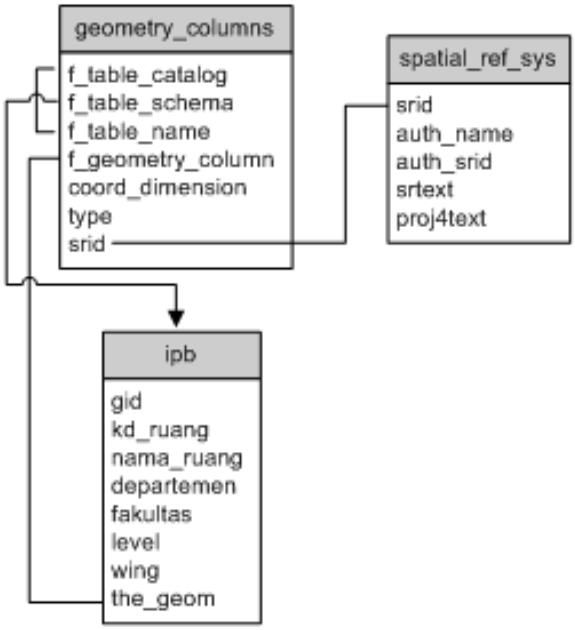
Perangkat keras yang dipilih telah dianggap memenuhi syarat untuk pengembangan sistem , yaitu komputer dengan Prosesor AMD Athlon (tm) 64X2 Dual, Memori 2

GB, Harddisk160 GB dan monitor dengan resolusi 1027x768 piksel yang menjalankan sistem operasi Linux-Ubuntu 10.10

3.5 Perencanaan, Perancangan dan Pengembangan Basisdata

Pada tahap konseptual konseptual basisdata ditetapka data spasial dan data atribut ruangan Kampus IPB Darmaga akan direpresentasikan dalam sebuah tabel ipb. Data pada setiap layer berasal dari satu tabel yang sama, hal ini akan memudahkan perancangan konfigurasi layer, menjadikan fungsi pencarian menjadi lebih fleksibel dan memudahkan perubahan data atribut. Rancangan basisdata secara logik dapat dilihat pada Gambar 3 dimana tabel IPB memberikan informasi mengenai data ruangan kampus IPB darmaga, tabel geometry_columns berisi identifikasi tabel yang memiliki atribut spasial dan tabel spatial_ref_sys merupakan referensi spasial dari kolom geometri. Secara fisik data tersimpan dalam bentuk basisdata PostgreSQL berekstensi PostGIS.

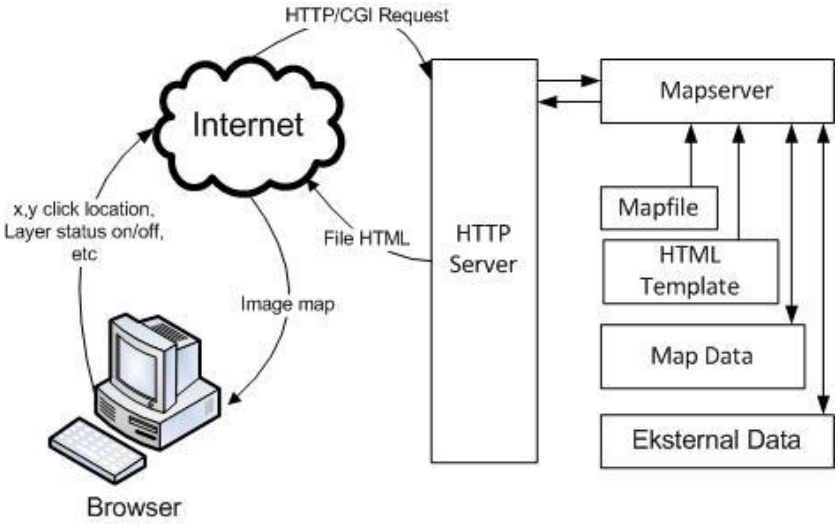
Proses pembangunan basisdata terdiri atas pengumpulan data spasial, pengolahan data, pengelompokan dan seleksi data, penambahan informasi, konversi data shapefile ke dalam bentuk PostGIS dan membuat basisdata baru dalam PostgreSQL.



.Gambar 3 Keterhubungan antartabel

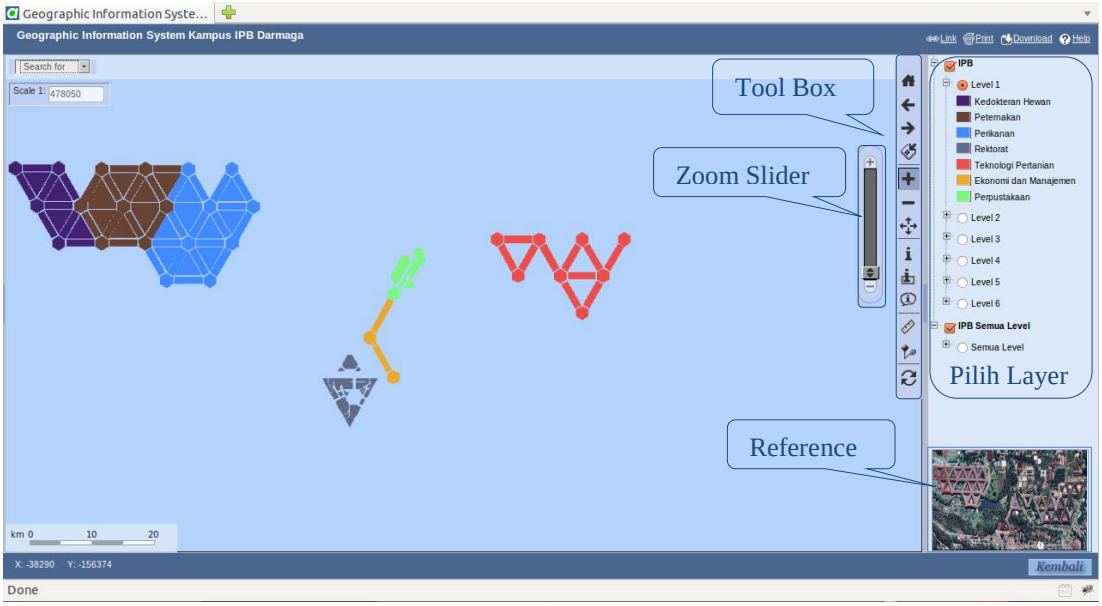
3.6 Integrasi dan Perancangan Antarmuka Sistem

Arsitektur sistem dirancang berdasarkan three tier architecture yang terdiri atas *data tier,logic tier*, dan *presentation tier*. Arsitektur yang digunakan dalam pengembangan sistem berbasis MapServer dapat dilihat pada Gambar 4.



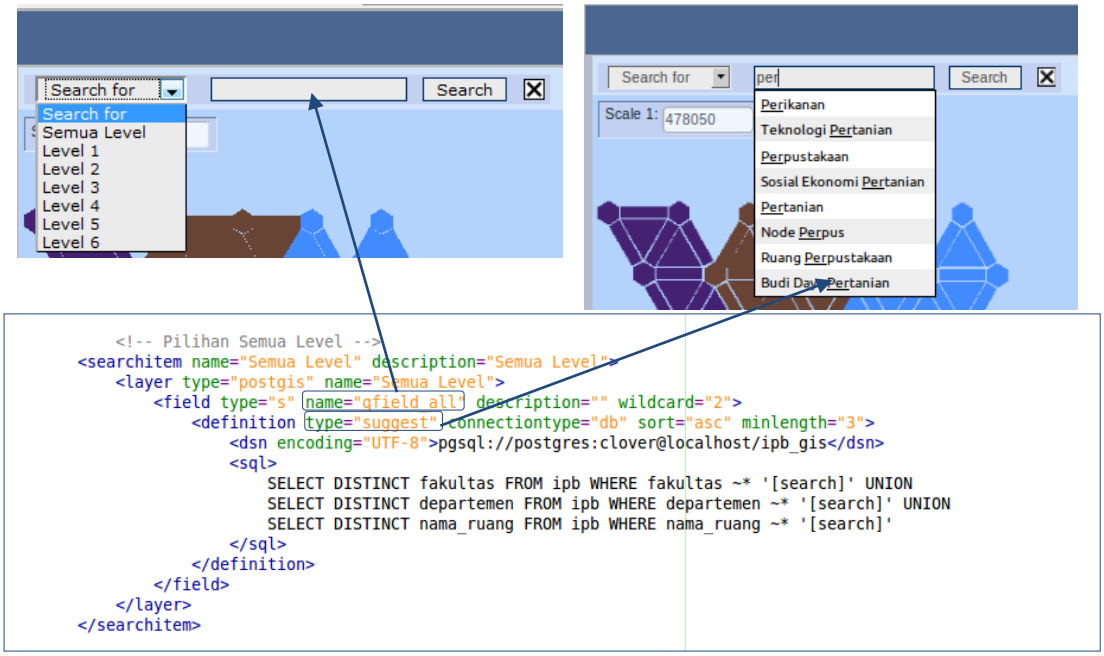
Gambar 4 Arsitektur Sistem Berbasis Mapserver

Lapisan paling bawah *three tier architecture* adalah server basisdata sistem (data tier). Pada lapisan ini terjadi proses konversi data file *.dwg ke dalam PostGIS. Data yang telah dikonversi, menjadi data input pada aplikasi MapServer sebagai Eksternal Data. Kemudian data ini akan diolah berdasarkan konfigurasi mapfile (*.map) yang akan menghasilkan output berupa file citra (*image map*) . Dalam penelitian ini, digunakan format file PNG sebagai output. Hasil konfigurasi mapfile ini kemudian dibangkitkan oleh *framework* pmapper untuk disajikan dalam bentuk tampilan peta dengan navigasi yang interaktif dan dinamis. Proses dari tampilan Pmapper, konfigurasi mapfile pada MapServer, dan penanganan komunikasi antara *client* dan server terjadi pada lapisan *logic tier*. Lapisan teratas *three tier achitecture* bertugas menyediakan antarmuka pengguna untuk berinteraksi dengan program web GIS menggunakan *browser*. Pada lapisan inilah client melakukan sebuah permintaan ke web server. Antarmuka halaman peta terdiri atas sembilan bagian yaitu *header*, *layer* dan legenda, *link tools*, navigasi,peta, skala, zoom scale, referensi, dan pencarian (Gambar 5).



Gambar 5 Antarmuka Halaman Peta

Pada penelitian ini akan ditampilkan fungsi pencarian lokasi peta kampus IPB Darmaga yang terdiri atas pencarian ruangan pada level 1, 2, 3, 4,5,6 dan ada juga pencarian ruangan pada seluruh level. Fungsi pencarian pada default tool Pmapper hanya dapat melakukan pencarian dari suatu tabel pada satu field. Untuk mengubah default tool nya, maka dilakukan modifikasi pada arsitektur file config/ config_gis.xml dan query/search.php. Tampilan menu pencarian dan kode program terkait dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Menu Pencarian

3.7 Pengujian Sistem

Pengujian terhadap sistemdilakukan dengan menggunakan metode *black-box*. Pengujian ini dilakukan terhadap fungsi-fungsi sistem dengan cara memberikan sejumlah masukan tertentu kemudian diperiksa apakah keluaran yang dihasilkan sudah sesuai dengan harapan. Dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil menjalankan fungsi-fungsinya dengan baik.

3.8 Penggunaan dan Perawatan Basisdata

Pembangunan sistem ini didasarkan pada keperluan penelitian. Sistem ini masih berupa prototype web SIG yang penggunaannya belum maksimal. Perawatan dan pengembangan aplikasi di masa yang akan datang memerlukan petunjuk. Untuk itu dibuat sebuah pedoman atau petunjuk yang memuat informasi tentang proses sistem, penggunaan antarmuka dan penjelasan teknis yang berkaitan dengan konfigurasi aplikasi.

4 KESIMPULAN

GIS Kampus IPB Darmaga dikembangkan sebagai sistem yang menyediakan informasi mengenai ruangan yang ada di Kampus IPB Darmaga berbasis web, dinamis dan interaktif. Informasi tersebut meliputi enam level gedung-gedung IPB. Pengguna dapat mencari nama ruang, departemen, dan fakultas suatu ruangan di kampus IPB Darmaga. Dikatakan dinamis karena dalam penyajiannya sistem ini dibangun menggunakan framework Pmapper yang menyediakan fungsi yang besar serta multiple untuk memanipulasi peta. Fungsi manipulasi peta yang tersedia yaitu memperbesar dan memperkecil ukuran skala peta, melakukan cetak peta dalam bentuk PDF atau HTML, identifikasi layer secara automatis, melakukan pengukuran jarak, menambahkan objek baru dan mengambil informasi yang berkaitan dengan lokasi tersebut. Sistem ini berbasis web online sehingga pengguna dapat dengan mudah mengaksesnya dimanapun dan kapanpun

DAFTAR PUSTAKA

[1] Tenny Riajelita. 2004. Pemetaan Berbasis Web dengan Menggunakan Mapserver dan PHPMapScript (Studi Kasus Kampus IPB Darmaga).[Skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.

[2] Wigit Triyadi . 2006. Sistem Informasi Geografis Fakultas MIPA IPB Darmaga.[Skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.

[3] Nasution. 2007. Sistem Informasi Geografis Ruangan Kampus IPB Darmaga (SIR-IPB). [Skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.

[4] Isriana. 2009. Web GIS Ruangan IPB dengan Konfigurasi Mapfile Dinamis Menggunakan Mapstorer dan Pmapper.[Skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.

[5] Department of Geography University at Buffalo, NY. 2004. GIS Development Guide.http://www.geog.buffalo.edu/ncgia/sara/index.html, volumei.pdf dan volumeiii.pdf. [12 November 2009]

PENYELESAIAN *RURAL POSTMAN PROBLEM* PADA GRAF BERARAH DENGAN METODE HEURISTIK

Farida Hanum[1], Rangga Nakasumi[2], Toni Bakhtiar[3]
[1,2,3] Departemen Matematika FMIPA IPB
Kampus IPB Darmaga Bogor 16680
faridahanum00@yahoo.com[*)]

ABSTRAK

Penelitian ini membahas salah satu masalah penentuan rute optimal yang dapat diformulasikan sebagai masalah *arc routing*, yaitu *Rural Postman Problem* (RPP). Masalah ini mencari rute perjalanan dengan biaya minimum sehingga setiap sisi/jalan yang diperlukan harus dilewati minimal satu kali. RPP dapat diterapkan pada graf tak berarah ataupun graf berarah dan dapat diselesaikan dengan beberapa cara. Dalam penelitian ini, RPP diterapkan pada graf berarah dan diselesaikan dengan metode heuristik. Metode ini terdiri atas beberapa tahap dan menggunakan beberapa algoritme. Contoh permasalahan yang dibahas dalam makalah ini adalah masalah pengiriman beras di suatu daerah sehingga diperoleh rute pengiriman beras dengan biaya minimum.

Kata Kunci*:Rural Postman Problem*, graf berarah, metode heuristik

1 PENDAHULUAN

Masalah penentuan rute yang melewati sisi (*arc routing problem*) merupakan salah satu masalah penting dalam optimasi kombinatorial yang mempunyai banyak aplikasi dalam dunia nyata. Salah satu masalah penentuan rute yang melewati sisi ialah *Rural Postman Problem* (RPP). Masalah ini merupakanperluasan dari *Chinese Postman Problem* (CPP). CPP bertujuan mencari rute dengan jarak sehingga setiap jalur/sisi harus dilewati paling tidak satu kali [1]. Jika diharuskan melewati jalur tertentu yang telah ditentukan, maka permasalahannya menjadi RPP.RPP pertama kali diperkenalkan oleh Orloff pada tahun 1974. Dalam jurnalnya, disebutkan bahwa RPP merupakan formulasi masalah untuk menentukan rute dengan biaya minimum yang melintasi setiap jalur yang diperlukan. Masalah dalam dunia nyata yang dapat diformulasikan dalam bentuk RPP antara lain masalah penentuan rute untuk penyapuan jalan, pengambilan sampah, pengiriman surat pos, pembacaan meteran air/listrik, penentuan rute bus sekolah dll.

Pada dasarnya RPP menggunakan graf campuran, tetapi ada yang hanya menggunakan graf berarah atau pun graf takberarah saja.RPP dengan graf berarah biasanya digunakan untuk lintasan yang memiliki jalur satu arah saja, sedangkan jalur yang memiliki

dua arah menggunakan RPP dengan graf tak berarah.Jika kedua jalur, baik yang satu arah atau pun dua arah bisa dilayani secara bersamaan, dapat menggunakan RPP dengan graf campuran. Contoh aplikasi RPP sangat banyak, diantaranya penentuan rute terpendek penyapuan jalan, pengirimansuratatau barang dengan rute terpendeknya atau biaya minimumnya, penentuan rute bus sekolah, dsb.

2 METODOLOGI

RPP merupakan salah satu masalah NP-*hard* [2], sehingga untuk menentukan solusi optimalnya tidaklah mudah.Beberapa metode heuristik dapat digunakan untuk menentukan solusi pendekatan masalah ini. Dalam [2] diberikan metode heuristik untuk RPP berarah dan RPP tak berarah; dalam [3] dibahas algoritme heuristik yang memperbaiki algoritme heuristik Frederickson yang dibahas dalam [2], sedangkan dalam [4] digunakan *local search* untuk RPP tak berarah.

Masalah RPP berarah dalam penelitian ini diselesaikan dengan dua macam algoritme heuristik, yaitu algoritme heuristik balans-hubung dan algoritme heuristik hubung-balans.Sesuai dengan namanya, algoritme balans-hubung dilakukan dengan membuat graf berarahnya sebagai digraf balans terlebih dahulu baru menghubungkan komponen-komponen pada graf, sedangkan algoritme hubung-balans dilakukan dengan menghubungkan terlebih dahulu komponen-komponen grafnya baru kemudian membuatnya menjadi digraf balans.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 *Rural Postman Problem* Berarah

Dalam banyak masalah penentuan rute, hanya sebagian sisi atau sisi berarah yang diperlukan saja yang harus dilewati.Masalah penentuan rute seperti ini biasa *disebut rural postman problem*.Misalkan $G = (V, A \cup E)$ graf campuran dengan A himpunan sisi berarah dan E himpunan sisi takberarah pada graf G.Misalkan R merupakan himpunan sisi berarah yang diperlukan (*required arc*) pada G, yaitu$R \subseteq A \cup E$. Selanjutnya, diberikan bobot/nilai untuk setiap sisi $\{i,j\}$dan sisi berarah (i, j) yang dinotasikan denganc_{ij}. Permasalahan RPP bertujuan mencari sirkuit yang bernilai minimum pada G yang melewati semua sisi berarah

yang diperlukan di R. Jika $A = \emptyset$, maka RPP tersebut merupakan RPP tak berarah, sedangkan jika $E = \emptyset$, maka RPP tersebut merupakan RPP berarah.

3.2 Beberapa Pengertian dalam Teori Graf

Berikut ini diberikan beberapa pengertian dan teorema dalam teori graf yang digunakan dalam penelitian ini yang dikutip dari [5]. Suatu graf berarah (digraf) dikatakan balans (*balance*) jika setiap verteks pada graf tersebut memiliki $\delta(v) = 0$, dengan $\delta(v)$ adalah selisih dari derajat masuk (*indegree*) dengan derajat keluar (*outdegree*) verteks v.Suatu sisi pada graf G yang terhubung disebut *bridge* jika sisi tersebut pada saat dihilangkan menyebabkan graf G menjadi tidak terhubung.Suatu subgraf terhubung yang tidak termuat pada subgraf lainnya yang juga terhubung disebut komponen dari graf.Suatu *tree* yang memiliki satu verteks yang *indegree*-nya bernilai 0 (nol), sementara verteks-verteks lainnya memiliki *indegree* 1 (satu) disebut *arborescence*.Verteks yang *indigree*-nya bernilai 0 (nol) pada *arborescence* disebut akar *arborescence*.*Spanning arboresence* adalah suatu *arborescence* yang memuat semua simpul pada suatu graf. *Minimum spanning tree* (*arborescence*) adalah *tree* (*arborescence*) dengan bobot minimum. Sirkuit Euler adalah sirkuit yang melewati semua sisi pada graf tepat satu kali.Graf yang memiliki sirkuit Euler disebut graf Euler.Dalam [6] diberikan syarat agar suatu digraf mempunyai sirkuit Euler.Misalkan D suatu digraf terhubung. Digraf Dadalah digraf Euler jika dan hanya jika *outdegree* (v) = *indegree* (v) untuk setiap v di D.

3.2 Pengubahan Digraf Takbalans menjadi Digraf Balas

Misalkan diberikan graf berarah $G = (V, A)$; himpunan sisi berarah yang diperlukan $R \subset A$; dengan nilai bobot c_{ij} untuk setiap $(i, j) \in A$. Misalkan x_{ij} adalah banyaknya sisi berarah dari verteks i ke verteks j yang harus ditambahkan, $d^-(i, R)$ merupakan derajat masuk verteks $i$di $G_R = (V, R)$,$d^+(i, R)$ adalah derajat keluar verteks i di G_R, maka pengubahan graf yang tidak balans menjadi graf balans dapat dilakukan dengan menyelesaikan masalah berikut [7]:

$$\text{minimumkan} \sum_{(i,j)\in A} c_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

$$\text{terhadap} \quad \sum_{j:(i,j)\in A} x_{ij} - \sum_{j:(j,i)\in A} x_{ji} = b(i) \tag{2}$$

$$\text{dengan} b(i) = d^-(i, R) - d^+(i, R) \text{untuk setiap} i \in V$$

$$x_{ij} \text{bilangan bulat taknegatif.} \tag{3}$$

Fungsi objektif pada persamaan (1) menyatakan bahwa nilai objektif dari masalah ini adalah jumlah dari sisi terboboti dikalikan dengan banyaknya sisi tersebut dilewati. Kendala pertama pada persamaan (2) menyatakan bahwa banyaknya sisi yang masuk ke setiap verteks harus sama dengan banyaknya sisi yang keluar dari verteks tersebut, sedangkan (3) menyatakan kendala ketaknegatifan dan bilangan bulat.

3.4 Beberapa Algoritme

Banyak algoritme yang digunakan untuk menyelesaikan RPP berarah pada penelitian ini, antara lain algoritme penentuan *path*/lintasan terpendek dari satu verteks ke verteks-verteks lain (algoritme Dijkstra) dan penentuan *minimum spanning tree* atau *minimum spanning arborescence* (algoritme Prim atau algoritme Kruskal) yang dapat dilihat lebih jelas dalam buku-buku graf (misalnya di [5]).Selain itu diperlukan pula algoritme untuk menentukan sirkuit Euler pada graf berarah yang balans sebagai berikut.

3.4.1 Algoritme van Aardenne-Ehrenfest – de Bruijn

Misalkan $G = (V, A)$ adalah digraf yangbalans.

LANGKAH 1. Bentuk *spanning arborescence* dari digraf balans tersebut dengan algoritme Prim/Kruskal.

LANGKAH 2. Sisi berarah yang keluar dari tiap-tiap verteks diurutkan dan dilabeli, dan sisi berarah yang terakhir dilabeli adalah sisi berarah pada *spanning arborescence*.

LANGKAH 3. Tentukan sirkuit Euler dengan melintasi tiap-tiap sisi berarah yang telah dilabeli, mulai dari label yang terkecil sampai dengan label terbesar. Proses berhenti jika tiap sisi berarah yang dilabeli telah dilewati [2].

Algoritme utama untuk menyelesaikan RPP berarah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.4.2 Algoritme Balans-Hubung

Misalkan diberikan graf berarah $G = (V, R \subset A)$, dengan R himpunan sisi berarah yang diperlukan dan bobot setiap sisi (i, j) adalah $c_{ij} \forall (i, j) \in A$,maka langkah-langkah algoritme Balans-Hubungadalah sebagai berikut:

LANGKAH 1 .Bentuk subgraf $G_R = (V, R)$ dari graf G. Selesaikan masalah (1) - (3), untuk menentukan sisi berarah A_B yang akan ditambahkan pada $G_R$sehingga diperoleh graf balans$G_B = (V, R \cup A_B)$.

LANGKAH 2. Tentukan komponen-komponen pada G_B, dan notasikan dengan $K_1,...,K_c$. Jika $c = 1$, maka jadikan $R \cup A_B$ sebagai hasil *output* dan proses selesai. Jika tidak, maka bentuk graf lengkap yang takberarah $G_K = (N_K, E_K)$ dengan himpunan verteks $N_K = \{K_1,...,K_c\}$ dan bobot atau nilai tiap sisi yang menghubungkan K_p dan K_q ialah

$$\tilde{c}_{pq} = \min_{i \in K_p, j \in K_q} \{SP(i,j) + SP(j,i)\}$$

dengan SP(i, j) merupakan panjang *path* terpendek dari verteks$i$ pada komponen $K_p$dengan verteks$j$ pada komponen K_q.

LANGKAH 3. Tentukan *minimum spanning tree* pada G_K. Misalkan A_C himpunan semua sisi berarah pada G yang terletak pada *path* terpendek yang berpadanan dengan sisi-sisi*minimum spanning tree* padaG_K dan diperoleh $G_{BC} = (V, R \cup A_B \cup A_C)$ yang balans.

LANGKAH 4. Tentukan sirkuit *Euler* pada G_{BC} dan jadikan sebagai solusi dari RPP berarah [7].

3.4.3 AlgoritmeHubung & Balans

Misalkan diberikan graf berarah $G = (V, R \subset A)$ dengan R himpunan sisi berarah yang diperlukan dan bobot setiap sisi (i, j) adalah $c_{ij}, \forall (i, j) \in A$, maka langkah-langkah algoritme Hubung-Balans adalah sebagai berikut:

LANGKAH 1. Tentukan komponen-komponen pada$G_R = (V, R)$. Jika G_R terhubung, maka $A_C = \emptyset$ dan dilanjutkan ke Langkah 3. Jika tidak, maka dilanjutkan ke Langkah 2.

LANGKAH 2. Pilih sembarang himpunan sisi berarah A_C, sehingga graf $G_C = (V, R \cup A_C)$ terhubung.

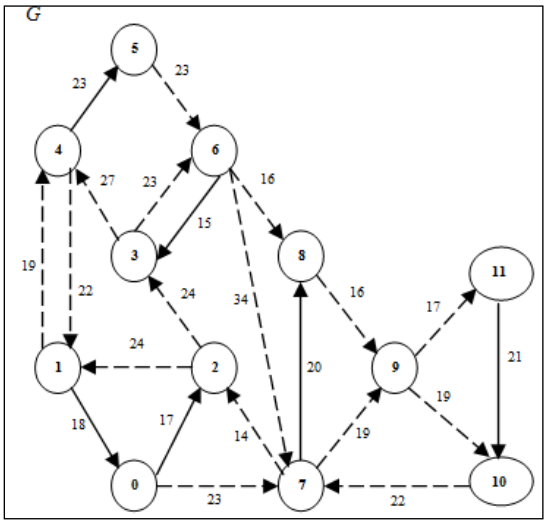
LANGKAH 3. Cari solusi masalah (1) - (3) untuk menentukan sisi berarah A_B yang akan ditambahkan pada $R \cup A_C$, dan menghasilkan graf yang balans $G_{CB} = (V, R \cup A_C \cup A_B)$ dan bernilai minimum.

LANGKAH 4. Tentukan sirkuit *Euler* pada G_{CB}dan jadikan sebagai solusi dari DRPP.

3.5 Aplikasi Masalah

Misalkandi suatu daerah terdapat sejumlah pelanggan yang harus dikunjungi.Verteks menyatakan persimpangan jalan, dan lokasi pelanggan berada di jalur utama. Bagan daerah dan jarak tempuhnya dinyatakan dengan graf pada Gambar 1 yang diambil dari [8]. Asumsi yang digunakan dalam penentuan rute tersebut adalah sebagai berikut:

1. Semua jalur utama harus dilewati tanpa kecuali.
2. Jalur pilihan boleh dilewati atau tidak.



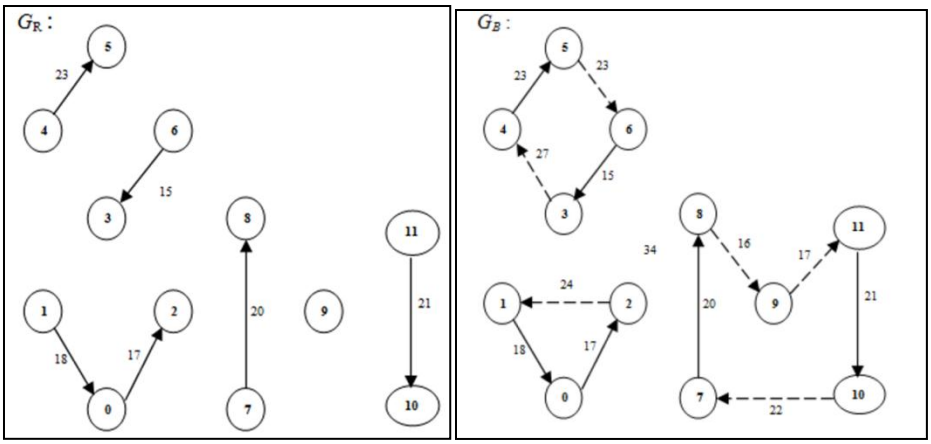
Gambar 1 Graf untuk aplikasi RPP berarah.

Ket: ⟶ Jalur utama yang harus dilewati

- - - ▸ Jalur pilihan

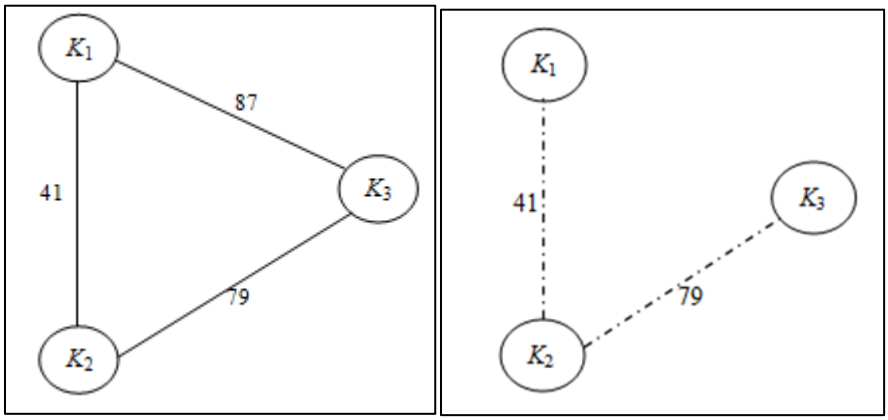
3.5.1 Penyelesaian Masalah dengan Algoritme Balans-Hubung

1. Buat subgraf $G_R = (V, R)$seperti pada Gambar 2a. Digraf tersebut tidak balans.
2. Dengan menyelesaikan masalah (1) –(3) akan diperoleh digraf balans seperti pada Gambar 2b.



Gambar 2 (a) Subgraf G_R, (b) Digraf balansG_B.

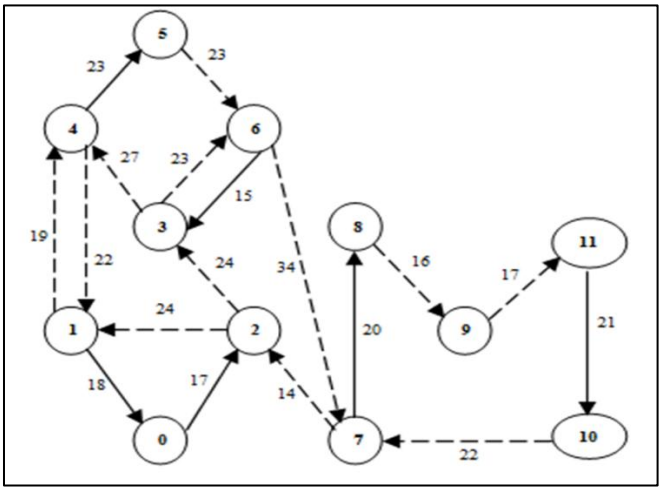
3. Pada G_B terdapat 3 komponen yaitu K_1, K_2, dan K_3. Kemudian dibentukgraf lengkap G_K = (N_K, E_K) dengan verteksnya ialah komponen pada G_B seperti pada Gambar 3a. Bobot setiap sisiialah jarak *path* terpendek yang menghubungkan setiap verteks di setiap komponen. Dengan algoritme Dijkstra didapat panjang *path* terpendek antara komponen K_1 dan K_2adalah 41 (dari panjang *path* terpendek antara *path* (1,4) dan *path* (4,1)), jarak antara K_1 dan K_3ialah 87 (dari *path* (0,7) dan *path* (7,0), atau*path* (1,7) dan *path* (7,1), atau*path* (2,7) dan *path* (7,2), serta jarak antara K_2 dan K_3 ialah 79 diperoleh dari panjang *path* terpendek antara *path* (3,7) dan *path* (7,3), atau *path* (6,7) dan *path* (7,6).



Gambar 3 (a) Graf lengkap G_K (b) *Minimum spanning tree* pada G_K.

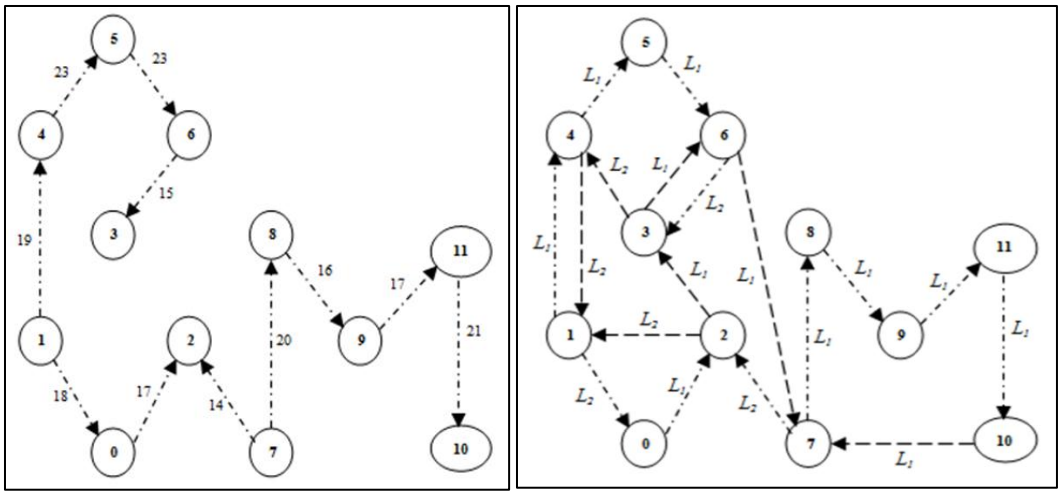
4. Dengan algoritme Prim/Kruskal diperoleh *minimum spanning tree* seperti pada Gambar 3b).

5. Agar G_B terhubung, maka ditentukan A_C, yaitu himpunan sisi berarah pada G_B yang berpadanan dengan *minimum spanning tree* padaG_K. Pada kasus ini dipilih *path* (1,4) dan (4,1), serta *path* (6,7) dan (7,6), sehingga diperoleh graf $G_{BC} = (V, R \cup A_B \cup A_C)$ dengan $A_C = \{(1,4), (4,1), (6,7), (7,6)\}$ seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Graf G_{BC} dari algoritme Balans-Hubung.

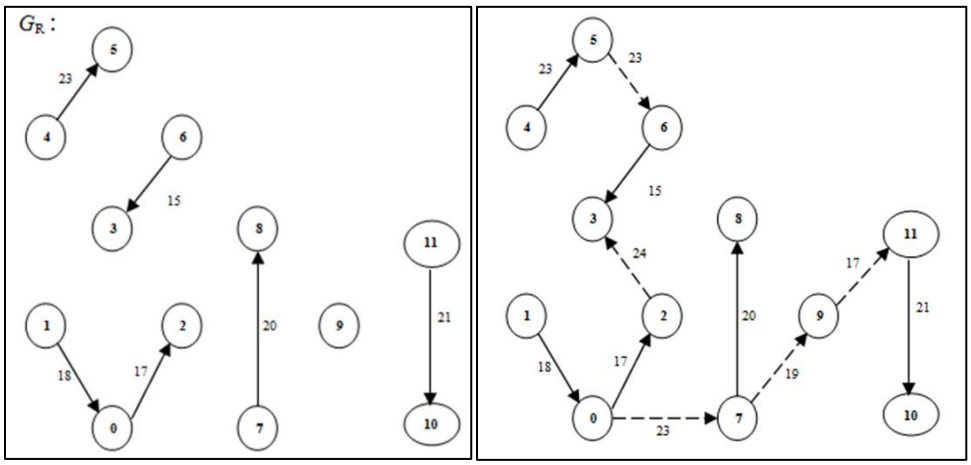
6. Penentuan sirkuit Euler dengan menggunakan algoritme van Aardenne-Ehrenfest – de Bruijn pada G_{BC} dengan langkah-langkah sebagai berikut: menentukan *minimum spanning arborescence*, melabeli sisi dengan aturan yang ada, kemudian menentukan sirkuit Eulernya.Sirkuit Euler yang diperoleh merupakan solusi RPP berarah, antara lain 0-2-3-6-7-8-9-11-10-7-2-1-4-5-6-3-4-1-0 (mulai dari verteks 0), 1-4-5-6-7-8-9-11-10-7-2-3-6-3-4-1(mulai dari 1) dengan total bobot 379.



Gambar 5 *Minimum spanning arborescence* dan hasil pelabelan graf G_{BC}.

3.5.2 Penyelesaian Masalah dengan Algoritme Hubung-Balans

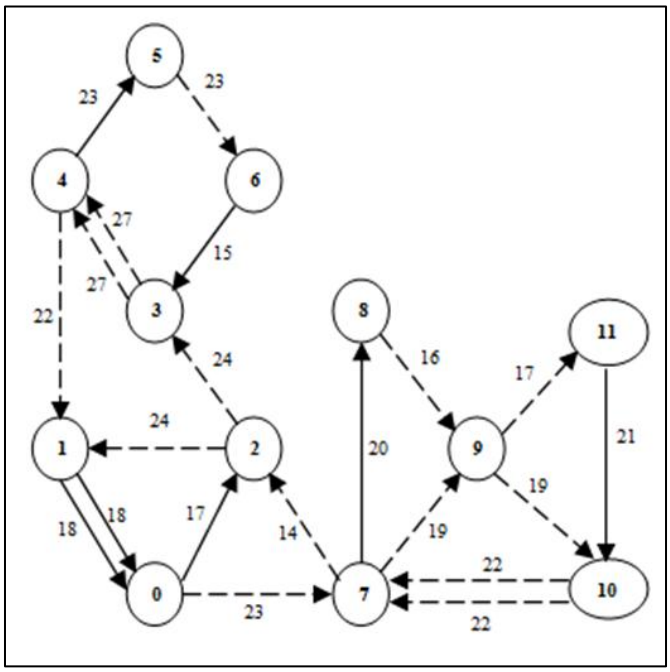
1. Penentuan komponen-komponen pada $G_R = (V, R)$ seperti terlihat pada Gambar 6a dengan R ialah himpunan sisi berarah yang diperlukan (harus dilewati).
2. Penghubungan komponen dengan menambahkan satu sisi berarah yang menghubungkan komponen-komponen sehingga diperoleh graf terhubung seperti pada Gambar 6b.



Gambar 6 (a) Graf G_R, (b) Hasil penghubungan komponen G_R.

3. Dengan menyelesaikan masalah (1) – (3) diperoleh digraf balans G_{CB}seperti pada Gambar 7.

4. Dengan cara yang sama, ditentukan sirkuit Eulernya dengan algoritme van Aardenne-Ehrenfest – de Bruijn, antara lain 0-7-8-9-10-7-9-11-10-7-2-3-4-5-6-3-4-1-0-2-1-0 (mulai dari 0) dengan total bobotnya 431.



Gambar 7 Digraf balans G_{CB} dari algoritme Hubung-Balans.

4 KESIMPULAN

1. Masalah *rural postman problem* untuk graf berarah dapat diselesaikan dengan memanfaatkan beberapa algoritme.
2. Solusi yang diperoleh dari algoritme Hubung-Balans, dalam kasus ini, tidak lebih baik dari solusi yang diperoleh melalui algoritme Balans-Hubung karena pada proses penyambungan komponen tidak melalui mekanisme penyambungan dengan biaya minimum.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Eiselt HA, Gendreau M, Laporte G. 1995a. Arc routing problems, Part 1: The Chinese postman problem. *Operations Research* 43(2): 231-242.

[2] Eiselt HA, Gendreau M, Laporte G. 1995b. Arc routing problems, Part II: The Rural Postman Problem. *Operations Research*43(3):399-414.

[3] Hertz A, Laporte G, Hugo PN. 1999. Improvement procedures for the undirected rural postman problem. *INFORMS Journal on Computing* 11(1): 53 – 62.

[4] GrovesGW& van Vuuren JH. 2005.Efficient heuristics for the rural postman problem. *ORiON* 21 (1): 33–51

[5] Chartrand G, Oellermann OR. 1993. *Applied and Algorithmic Graph Theory*. New York: McGraw-Hill.

[6] Chartrand G, Zhang P. 2009. *Chromatic Graph Theory*. London: CRC Pr.

[7] Assad AA, Golden BL. 1995. *Arc Routing Methods and Applications*. Di dalam : Ball MO, Magnanti TL, Monma CL, Nemhauser GL, editor. *Handbook in Operations Research and Management Science – Volume 8:Network Routing*. Amsterdam: Elsevier Science BV. hlm 392-395

[8] Ghiani G, Laporte G, Musmanno R. 2004. *Introduction to Logistic System Planning and Control*. Chicester: John Wiley & Sons Ltd.

PENGEMBANGAN SISTEM INFORMASI PERKEBUNAN (SCIBUN) MENGGUNAKAN FREE OPEN SOURCE SOFTWARE (FOSS)

Hari Agung[1], Baba Barus[2], Diar Shiddiq[2], Bambang H Trisasongko[2],
La Ode Syamsul Iman[2], Auriza Akbar[1]

[1] Departemen Ilmu Komputer, FMIPA Institut Pertanian Bogor
[2] Pusat Pengkajian Perencanaan dan Pengembangan Wilayah (P4W) IPB
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
agung@ipb.ac.id

ABSTRAK

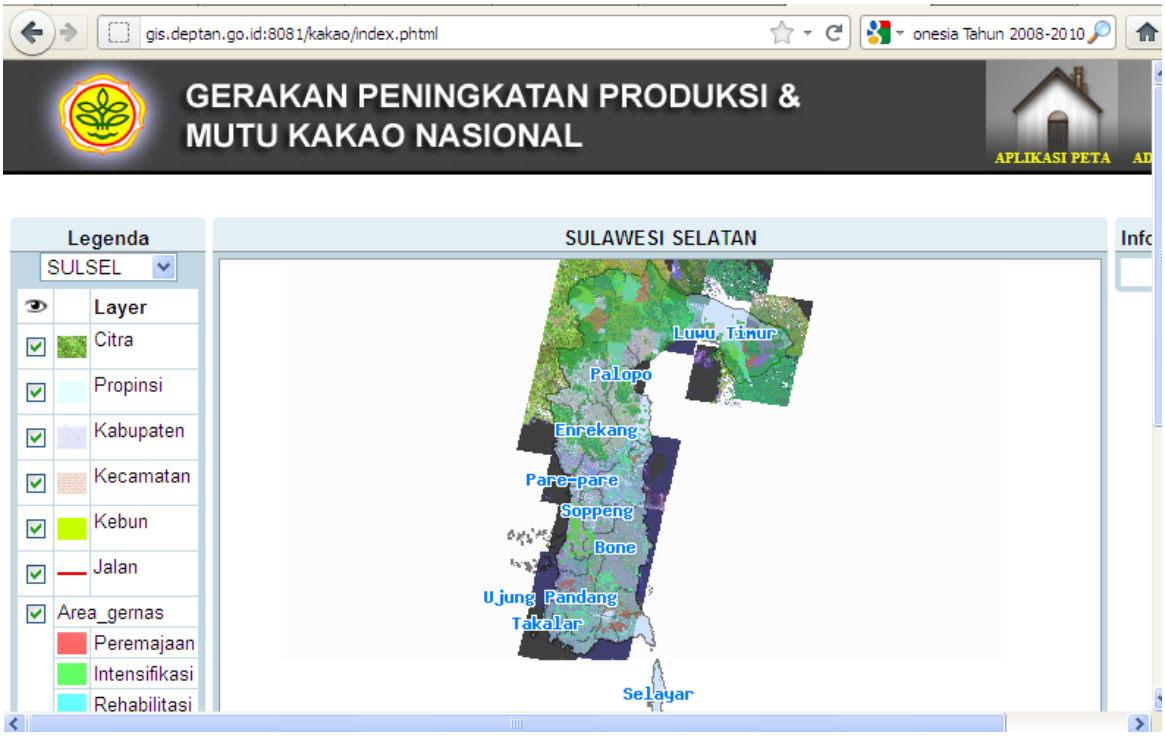
Dari total ekspor komoditi perkebunan yang memberikan nilai sebesar US$ 10,9 milyar, sekitar 70% berasal dari ekspor komoditas kelapa sawit, karet dan kakao. Untuk membantu mengembangkan ketiga komoditas tersebut perlu disediakan sebuah sarana penyimpanan data perkebunan serta data yang berkaitan dengan informasi profil industri primer. Oleh karena itu penelitian ini mengembangkan sistem informasi perkebunan (SCIBUN) untuk menyediakan suatu antarmuka aplikasi berbasis web sehingga pengguna dapat mengaksesnya dengan cepat dan mudah. Fasilitas yang tersedia pada SCIBUN adalah komparasi luasan hasil survey dengan buku statistik perkebunan Indonesia, katalog berkas, pemetaan perkebunan dan industri, serta profil industri. Data lokasi perkebunan didapatkan dari hasil interpretasi citra optik ALOS AVNIR-2 dan ALOS PALSAR (L-band) fully polarimetric serta verifikasi lapang. SCIBUN dikembangkan menggunakan perangkat lunak bebas terbuka (Free Open Source Software) diantaranya sistem operasi Debian GNU/Linux 6.0 kernel 2.6.32-5-amd64, sistem manajemen basisdata PostgreSQL 8.4.7, modul basisdata spasial PostGIS 1.5.1, web server Apache 2.2.16, bahasa pemrograman PHP 5.3.3, modul webgis MapServer 5.6.5 dan TileCache 2.03. 1. Untuk meningkatkan kinerja sistem dilakukan beberapa langkah tuning yaitu scale-up server PostgreSQL dan Apache sesuai dengan jumlah RAM server, instalasi APC sebagai opcode dan data cache bagi PHP, Implementasi level of detail (LOD) pada mapfile serta penerapan indeks GiST pada kolom geometri PostGIS.

Kata Kunci*:* WebGIS, Komoditas Perkebunan, Free Open Source Software

1 PENDAHULUAN

Data statistik mempunyai peranan yang sangat penting sebagai bahan perumusan strategi dan kebijakan pembangunan serta bahan perencanaan dan evaluasi. Untuk itu setiap tahun Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian mengadakan rapat penyusunan data statistik angka sementara dan angka estimasi yang dihadiri petugas pengelola perkebunan dari 31 provinsi yang membidangi perkebunan di Indonesia. Metode yang digunakan untuk menghitung estimasi luas areal dan produksi komoditas perkebunan saat ini

adalah metode yang simpel dan mudah dipahami yaitu dengan metode trend linier dan regresi linier dengan menggunakan software minitab [1]. Sedangkan untuk melengkapi angka luas areal komoditas perkebunan, Kemenentrian Pertanian telah mengembangkan beberapa aplikasi webgis seperti diperlukan peta sebaran kebun komoditas, seperti untuk kakao [2]. Aplikasi webgis tersebut masih sederhana seperti dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Contoh aplikasi webgis

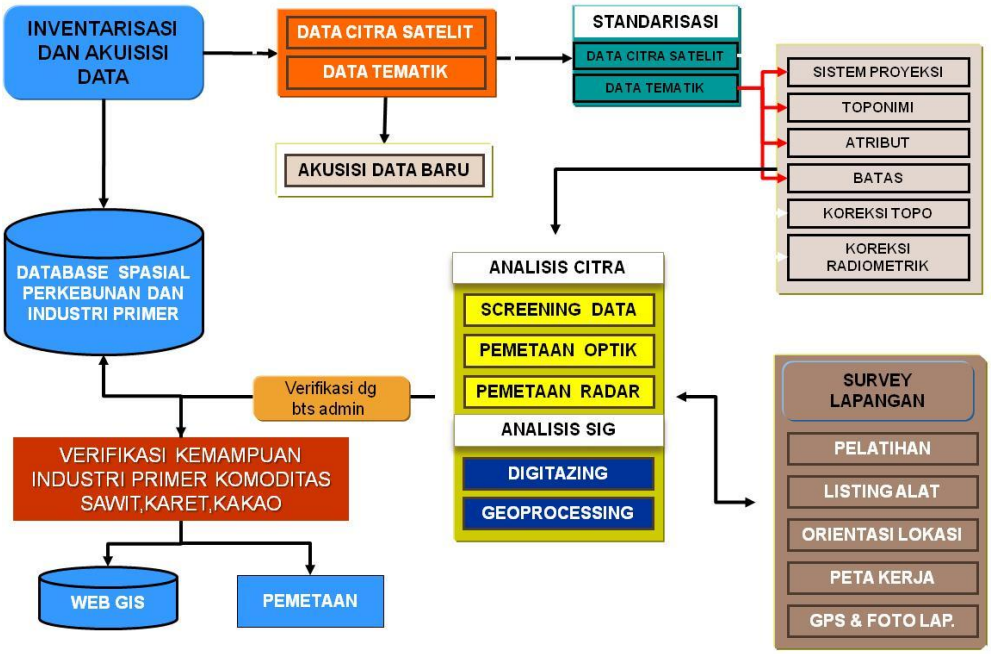
Oleh karena itu penelitian ini mengembangkan sistem informasi perkebunan (SCIBUN) untuk komoditas karet, kakao dan sawit berbasis webgis sehingga pengguna dapat mengaksesnya dengan cepat dan mudah. Fasilitas yang tersedia pada SCIBUN adalah komparasi luasan hasil survey dengan buku statistik perkebunan Indonesia, katalog berkas, pemetaan perkebunan dan industri, serta profil industri.

2 METODOLOGI

Secara umum, penelitian ini dapat dibagi menjadi beberapa pentahapan penting yaitu:

- Analisis Laboratorium. Akuisisi dan pengolahan data secara umum akan dilakukan di sebuah studio yang dilengkapi dengan berbagai perangkat keras dan lunak untuk analisis data penginderaan jauh dan sains informasi geografis.
- Survei Lapangan. Survei lapangan akan dilakukan secara bertahap, sesuai dengan waktu terselesaikannya analisis laboratorium. Survei lapangan diarahkan pada surveyor lokal atau surveyor yang telah menguasai medan survey, sehingga dapat memudahkan pelaksanaan survei. Data survei yang dikumpulkan adalah data kebun dan data industri primer perkebunan
- Validasi dan Integrasi Basis Data. Data yang dikumpulkan akan diintegrasikan dengan data hasil analisis sebelumnya. Integrasi juga dilakukan antara data spasial dengan data industri primer yang terkait.

Untuk memperoleh hasil yang diharapkan, strategi pencapaian tujuan dapat digambarkan dalam skema alur kerja berikut (Gambar 2).



Gambar 2 Alur Kerja

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum Sistem

Analisis kebutuhan penelitian terdiri atas deskripsi umum sistem dan fungsi produk. Secara umum sistem webGIS Perkebunan dideskripsikan sebagai aplikasi sistem informasi yang memiliki kemampuan dalam menampilkan data spasial pada halaman web dan dapat diakses melalui web browser. Jadi untuk menjalankan aplikasi ini dari sisi pengguna tidak memerlukan perangkat lunak GIS khusus. Pada versi prototipe ini, aplikasi yang telah selesai dibangun adalah sampai pada tahap penampilan data spasial dan proses *query* sederhana.

Fungsi umum yang dimiliki sistem adalah :

1. Menampilkan menu legenda yang berisi simbol dan keterangan dari layer yang ingin ditampilkan.
2. Memilih layer aktif peta yang diinginkan pengguna.
3. Menampilkan menu navigasi, seperti Zoom in, Zoom out, Re-center, Reset Zoom dan Query Point.
4. Menampilkan menu informasi

Sedangkan secara khusus sistem webGIS SCIBUN ini mampu

1. Menyajikan data luas kebun untuk komoditas karet, kako dan kelapa sawit berdasarkan status pengusahaan per status pengusahaan (Perkebunan Rakyat, Perkebunan Swasta dan Perkebunan Negara) – dalam bentuk tabel dan grafik
2. Menampilkan sebaran kebun
3. Menampilkan lokasi industri
4. Menampilkan lokasi survey kebun

Berdasarkan analisis kebutuhan sistem di atas, disimpulkan ada beberapa data dasar dan data tematik yang diperlukan, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kebutuhan Data

Format	Data Dasar	Data Tematik
Format Raster	Citra satelit ALOS (AVNIR dan Palsar) Landsat	-
Format Vektor	jaringan jalan, sungai, titik-titik lokasi penting (misal titik verifikasi kebun dan industri), batas adminitrasi wilayah	peta penggunaan/tutupan lahan, potensi lahan, kepemilikan lahan (negara, swasta dan rakyat), data sebaran 3 komoditas perkebunan (kelapa sawit, karet dan kakao).

3.2 Perancangan Sistem

Salah satu kegiatan dalam perancangan sistem adalah perancangan basis data secara konseptual, logikal dan fisikal. Gambar 3 menunjukkan hubungan spasial, diasosiasikan dengan kata kerja deskripsi yang diimplementasikan secara umum dari setiap hubungan dalam SIG.

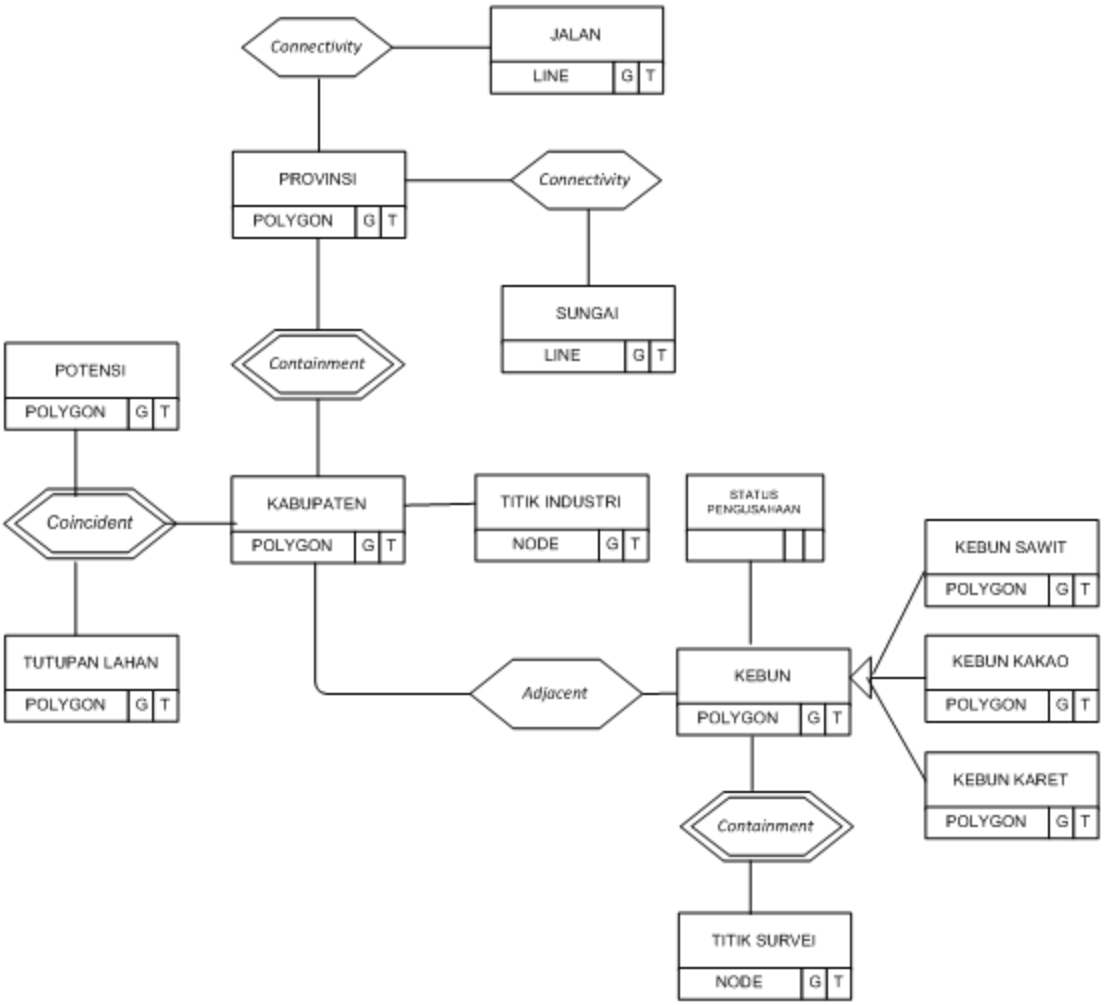
Spatial Relationship	*Descriptive Verbs*	*Common GIS*	*Model Symbol*
Connectivity	*Connect, link*	*Topology*	
Contiguity	*Adjacent, abutt*	*Topology*	
Containment	*Contained, containing, within*	*X,Y coord. operation*	
Proximity	*Closest, nearest*	*X,Y coord. operation*	
Coincidence	*Coincident, Coterminous*	*X,Y coord. operation*	

Gambar 3 Hubungan Spasial

Gambar 4 memperlihatkan perancangan konseptual basisdata webGIS SCIBUN yang dituliskan dalam Entity-Relationship Diagram yang telah melibatkan hubungan spasial. Sedangkan hasil perancangan basisdata secara logikal ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Tabel di dalam basisdata SCIBUN

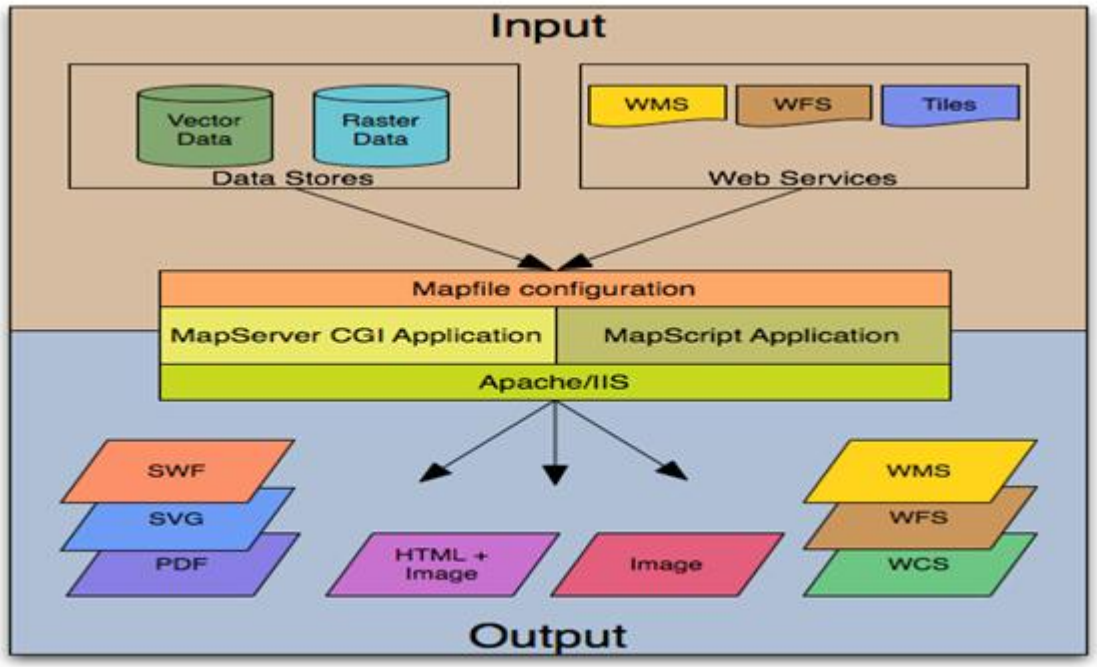
No	Nama tabel	Keterangan
1	The_geom	Menyimpan informasi geometrik dari obyek
2	Provinsi	Menyimpan data provinsi
3	Kabupaten	Menyimpan data kabupaten
4	Jalan	Menyimpan data jalan
5	Sungai	Menyimpan data sungai
6	Potensi_Lahan	Menyimpan data potensi lahan
7	Tutupan _Lahan	Menyimpan data tutupan lahan
8	Industri	Menyimpan data titik industri yang disurvei
9	Titik_survey	Menyimpan data titik survey kebun
10	Kebun	Menyimpan data kebun



Gambar 4 ERD Spasial SCIBUN

Dalam sistem SCIBUN ini *request* peta yang dikirimkan pengguna melalui web browser akan diterima terlebih dahulu oleh Web Server. Kemudian web server akan meneruskannya untuk diproses oleh bahasa pemrograman PHP yang menerima parameter melalui URL. Paramater yang diterima oleh PHP akan dilanjutkan kepada MapServer melalui modul PHPMapscript. PHPMapscript adalah modul yang menghubungkan antara bahasa pemrograman PHP dengan MapServer. MapServer berfungsi untuk mengolah mengolah data berdasarkan konfigurasi yang tertulis pada mapfile dan menghasilkan file gambar. File gambar inilah yang akan diterima oleh *client* yang dikirim oleh MapServer melalui Web

Server dengan memberikan HTTP *response*. Ilustrasi proses penanganan *request* oleh sistem berbasis MapServer seperti SCIBUN dapat dilihat pada Gambar 5.



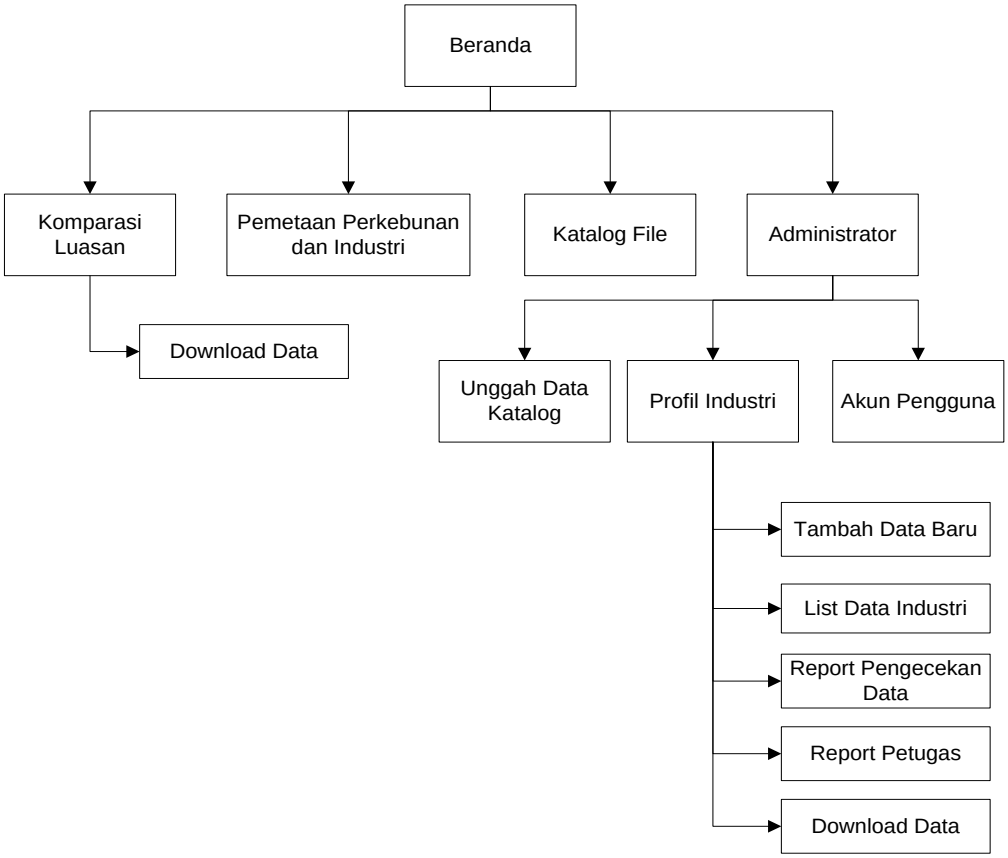
Gambar 5 Ilustrasi penanganan request oleh sistem berbasis MapServer

3.3 Implementasi Sistem

Tampilan aplikasi sistem informasi ini ditunjukan pada Gambar 6 dibawah ini.

Gambar 6 Tampilan awal SCIBUN

Modul-modul aplikasi yang berjalan digambarkan pada Gambar 7

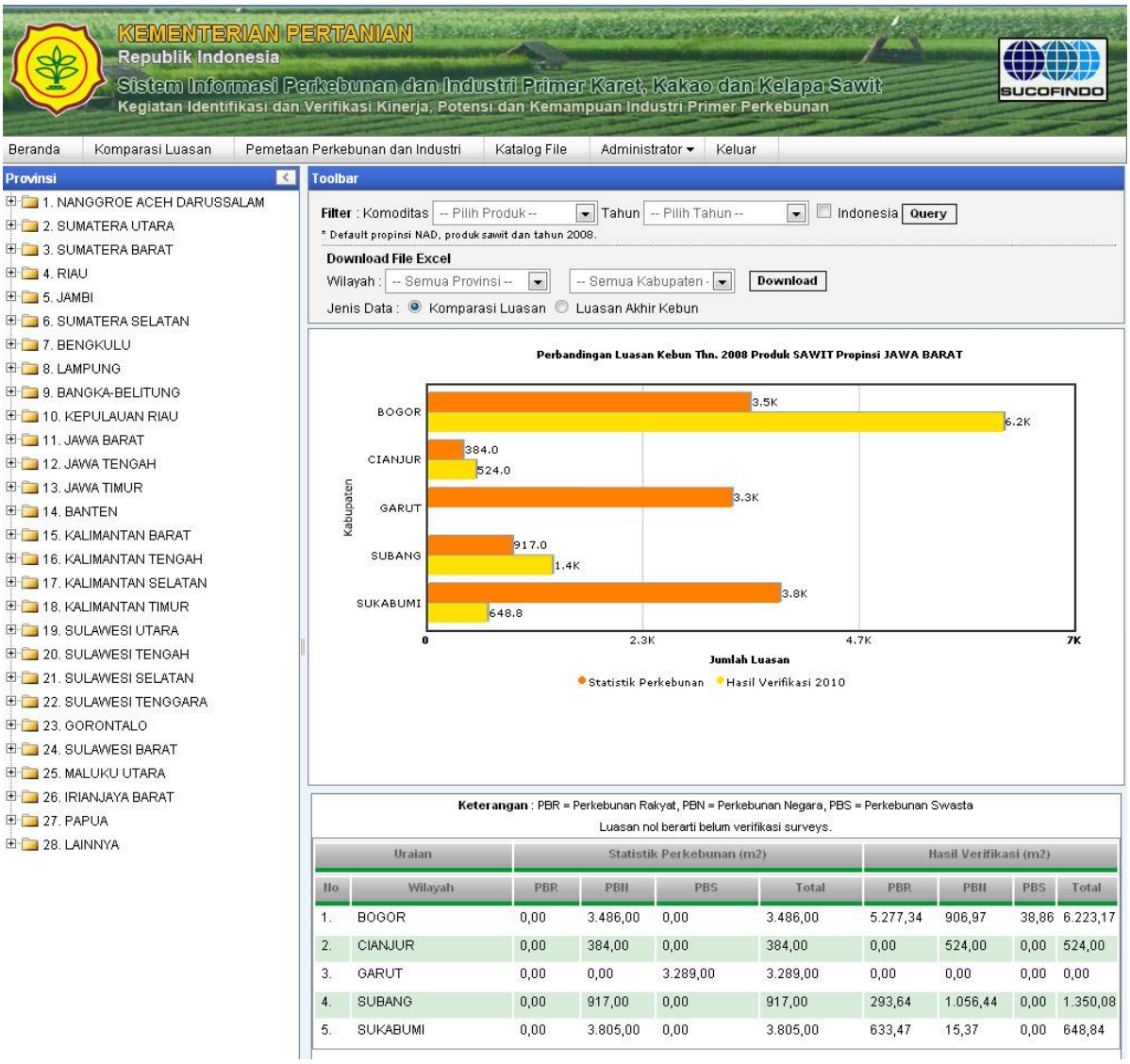


Gambar 7 Modul dalam SCIBUN

Modul Komparasi Luasan yaitu aplikasi yang bertujuan untuk menampilkan perbandingan data luasan perkebunan hasil survey verifikasi dengan data Statistik Direktorat Jenderal Perkebunan. Tampilan antarmuka ditunjukkan pada Gambar 8. Dalam modul ini terdapat fasilitas berikut

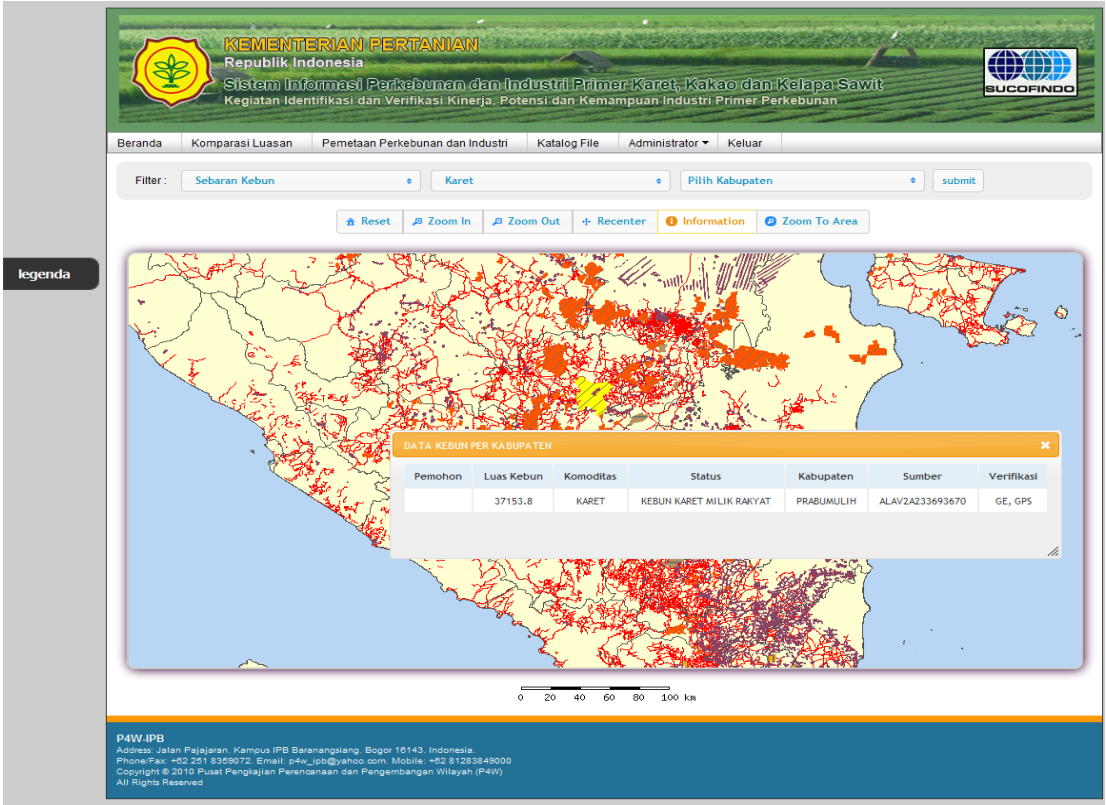
1. Filter data : berfungsi untuk menyaring komoditas dan tahun sumber data
2. Panel Provinsi : berfungsi menampilkan daftar provinsi
3. Download file excel : mendownload data luasan kebun dapat di-filter berdasarkan wilayah survey

Modul Pemetaan Perkebunan dan Industri yaitu aplikas yang berfungsi untuk menampilkan peta wilayah perkebunan untuk ketiga komoditas Karet, Kakao dan Kelapa Sawit. Pada aplikasi ini terdapat toolbar yang berfungsi menjalankan operasi-operasi dasar pemetaan, yaitu Show Map by Filter, Zoom In, Zoom Out, Recenter, Information, dan Zoom to Area (Gambar 9)



Uraian		Statistik Perkebunan (m2)				Hasil Verifikasi (m2)			
No	Wilayah	PBR	PBN	PBS	Total	PBR	PBN	PBS	Total
1.	BOGOR	0,00	3.486,00	0,00	3.486,00	5.277,34	906,97	38,86	6.223,17
2.	CIANJUR	0,00	384,00	0,00	384,00	0,00	524,00	0,00	524,00
3.	GARUT	0,00	0,00	3.289,00	3.289,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.	SUBANG	0,00	917,00	0,00	917,00	293,64	1.056,44	0,00	1.350,08
5.	SUKABUMI	0,00	3.805,00	0,00	3.805,00	633,47	15,37	0,00	648,84

Gambar 8 Tampilan modul Komparasi Luasan



Gambar 9 Modul Pemetaan Perkebunan dan Industri

4 KESIMPULAN

Web Mapping perkebunan (SCIBUN) dibangun sebagai sistem informasi yang dibangun berdasarkan gabungan database spasial perkebunan dan database industri primernya. Sistem ini dibangun dengan perangkat lunak bersifat open source yaitu MapServer dan telah dapat menampilkan data atribut dan peta dari lokasi kebun dan industri serta memiliki fasilitas yang lebih lengkap dari sistem sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] http://ditjenbun.deptan.go.id/sekretariat/index.php?option=com_content&view=article&id=76:penyusunan-data-statistik-perkebunan-angka-sementara-tahun-2011-dan-angka-estimasi-tahun-2012-hotel-prime-royal-surabaya-3-5-juli-2011&catid=13:hotnews

[2] http://gis.deptan.go.id:8081/kakao/index.phtml

PENILAIAN OPSI PUT AMERIKA DENGAN METODE MONTE CARLO DAN METODE BEDA HINGGA

Endar H. Nugrahani[1], Muhammad Syazali[2], Suritno[3]

Departemen Matematika, FMIPA, IPB

[1] e_nugrahani@ipb.ac.id

[2] akhizali_023@yahoo.com

[3] ritnosuritno@ymail.com

ABSTRAK

Kontrak opsi *put* adalah perjanjian antara dua pihak yang memberikan hak kepada pemegang kontrak untuk menjual sejumlah aset pada masa yang akan datang pada harga yang disepakati. Opsi tipe Amerika memiliki karakteristik dapat dieksekusi pada sembarang waktu sampai saat jatuh tempo, sedangkan opsi serupa tipe Erop a hanya dapat dieksekusi pada saat jatuh tempo. Berbeda dengan opsi Eropa yang dapat diselesaikan secara eksplisit dengan formula Black-Scholes, maka penilaian opsi Amerika tidak dapat diselesaikan secara analitis, sehingga penyelesaian hanya dapat diberikan secara numerik. Makalah ini memaparkan perbandingan penyelesaian numerik penilaian opsi put Amerika dengan metode Monte Carlo dan metode beda hingga. Metode Monte Carlo adalah metode simulasi numerik stokastik sederhana yang dapat diaplikasikan pada simulasi secara numerik terhadap waktu optimal eksekusi opsi, yang kemudian digunakan menentukan nilai opsinya. Sedangkan metode beda hingga diterapkan pada langkah penyelesaian formula Black-Scholes padanan untuk opsi Amerika. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kedua metode dapat diterapkan dengan cukup baik untuk penilaian opsi *put* Amerika.

Kata kunci: *Opsi put Amerika, formula Black-Scholes, metode Monte Carlo, metode beda hingga*

1 PENDAHULUAN

Investasi di bursa saham merupakan bentuk investasi penuh risiko yang membuat investor berhati-hati dalam menginvestasikan dananya. Hal tersebut menjadi salah satu faktor munculnya sarana alternatif untuk berinvestasi pada produk sekuritas turunan, antara lain berbentuk kontrak opsi. 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 aset.

Penggunaan hak untuk menjual atau membeli saham dalam kontrak opsi dikatakan sebagai tindakan eksekusi. 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. Besarnya biaya ini disebut juga dengan nilai opsi [1,2].

Teori penentuan nilai opsi telah dikembangkan sejak tahun 1973 oleh Black dan Scholes yang berhasil merumuskan masalah penentuan nilai opsi Eropa ke dalam bentuk penyelesaian persamaan diferensial parsial Black-Scholes. Pada tahun yang sama, 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 setersebut.

Dalam makalah ini akan dibahas tentang pemodelan serta penilaian opsi *put* Amerika. Metode penilaian opsi yang akan dibahas dan diimplementasikan adalah metode Monte Carlo dan metode beda hingga.

2 PEMODELAN OPSI

Model Harga Saham

Sebagai aset yang mendasari opsi, saham diasumsikan mengikuti proses Itô [1] berikut

$$dS = \mu S dt + \sigma S dW(t). \tag{1}$$

dengan S harga saham pada waktu t, μ adalah parameter konstan yang menyatakan tingkat rata-rata pertumbuhan harga saham dan σ volatilitas harga saham. Dengan model tersebut harga saham pada saat t dikatakan memiliki distribusi log-normal, yaitu

$$\ln S \sim N\left(\ln S_0 + \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t, \sigma\sqrt{t}\right)$$

dengan $N(a,b)$ melambangkan distribusi normal dengan nilai tengah a dan ragam b^2, S_0 adalah harga saham awal. Apabila tingkat pertumbuhan harga saham dianggap sama dengan tingkat suku bunga bebas risiko r, maka penyelesaian (1) memberikan penduga harga saham pada saat t sebagai

$$S(t) = S_0 \exp\left[\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma W(t)\right]. \tag{2}$$

Model Opsi atas Saham

Misalkan $V(S,t)$ adalah suatu fungsi dari harga saham S. Lemma Itô menunjukkan bahwa $V(S,t)$ juga merupakan suatu proses stokastik yang sama dengan aset yang mendasarinya, sehingga memenuhi proses Itô menurut model berikut:

$$dV = \left(\mu S\frac{\partial V}{\partial S} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2}\right)dt + \sigma S\frac{\partial V}{\partial S}dW \tag{3}$$

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 $\frac{\partial V}{\partial S}$ saham. Misalnya π adalah nilai portfolio yang dimaksud, maka

$$\pi = V - \frac{\partial V}{\partial S}S. \tag{4}$$

Perubahan portofolio pada selang waktu dt didefinisikan sebagai

$$d\pi = dV - \frac{\partial V}{\partial S}dS. \tag{5}$$

Substitusi (1) dan (3) ke (5) menghasilkan

$$d\pi = \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2}\right)dt. \tag{6}$$

Tingkat pengembalian (*return*) dari investasi sebesar π pada saham takberisiko akan memiliki pertumbuhan sebesar $r\pi dt$ dalam selang 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 :

$$r\pi dt = \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2}\right)dt. \tag{7}$$

Substitusi (4) ke (7), menghasilkan

$$\frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS\frac{\partial V}{\partial S} + \frac{\partial V}{\partial t} - rV = 0 \tag{8}$$

yang dikenal sebagai persamaan Black-Scholes-Merton. Persamaan (8) harus dipenuhi oleh semua produk derivatif agar layak diperdagangkan, yang berarti tidak menimbulkan kesempatan arbitras [1].

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]:

$$p = Ke^{-rT}N(-d_2) - S_0N(-d_1)$$
$$c = S_0N(d_1) - Ke^{-rT}N(d_2) \tag{9}$$

dengan $d_1 = \left[\ln(S_0/K) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T\right]/\sigma\sqrt{T}$ dan $d_2 = \frac{\left[\ln\left(\frac{S_0}{K}\right)+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)T\right]}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$.

Untuk opsi tipe Amerika, persamaan (7) tidak dipenuhi karena pendapatan portfolio tidaklah lebih banyak dari suku bunga bebas risiko portfolio itu, sehingga

$$d\pi \leq r\pi dt = r\left(V - S\frac{\partial V}{\partial S}\right)dt.$$

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:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + rS\frac{\partial V}{\partial S} + \frac{1}{2}\sigma^2S^2\frac{\partial^2 V}{\partial S^2} - rV \leq 0. \tag{10}$$

Pertidaksamaan (10) adalah dikenal sebagai pertaksamaan Black-Scholes untuk opsi Amerika.

Jika opsi yang dimaksud adalah opsi put Amerika, maka kondisi batas bawah untuk opsi *put* Amerika adalah

$$V(S,t) \geq (K - S)^+. \tag{11}$$

Alasan yang mendasarinya adalah sebagai berikut: jika $V \leq K - S$ seseorang dapat membeli opsi *put V*, dan segera mengeksekusinya, yaitu dengan membeli S dan menjualnya sebesar K. Dengan demikian investor memperoleh pendapatan tak berisiko sebesar $K - S - V \geq 0$.

Misalkan $S_f(t)$ menyatakan harga kritis saham sedemikian sehingga opsi akan optimal apabila dieksekusi lebih awal dan $0 < S_f(t) < K$. Jika $S \leq S_f(t)$ maka opsi akan dieksekusi, namun jika $S_f(t) < S$ opsi tidak dieksekusi. Dengan demikian (11) dapat dinyatakan dengan:

$$V(S,t)\begin{cases} = K - S & ; S \le S_f(t) \\ > (K-S)^+ & ; S > S_f(t) \end{cases} \tag{12}$$

Karena $S_f(t)$ tidak diketahui posisinya, penyelesaian terhadap $V(S,t)$ ini disebut masalah nilai batas bebas (*free buondary-value problem).* Dengan demikian masalah nilai batas bebas dari opsi *put* Amerika dapat diformulasikan sebagai berikut [3].

Untuk $S < S_f(t)$: $\frac{\partial V}{\partial t} + rS\frac{\partial V}{\partial S} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} - rV < 0$ dan $V(S,t) = K - S$. (13)

Untuk $S > S_f(t)$: $\frac{\partial V}{\partial t} + rS\frac{\partial V}{\partial S} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} - rV = 0$ dan $V(S,t) > (K-S)^+$. (14)

Syarat batas $\begin{cases} \lim_{S\to\infty} V(S,t) = 0 \\ \lim_{S\to 0} V(S,t) = K \end{cases}$ dan

Syarat akhir $V(S,t) = (K-S)^+$.

3 METODE PENILAIAN OPSI *PUT* AMERIKA

Metode Monte Carlo

Berikut adalah deskripsi metode Monte carlo untuk penentuan nilai opsi *put* Amerika menurut [4]. Misalkan $V = (V_t)_{0\le t\le T}$ adalah nilai opsi *put* Amerika. Tujuan dari langkah ini adalah untuk menghitung keuntungan berdasarkan asumsi bahwa waktu eksekusi berada dalam himpunan $P = \{t_0, \ldots, t_N\}$, dengan $t_i = i\Delta$ dan $iN = T$. Diasumsikan bahwa waktu $t_0 = 0$. Ditetapkan horizon waktu berhingga (*finite time horizon*) $T > 0$, dan misalkan terdapat dua proses stokastik $(r_t)_{0\le t\le T}$ dan $\left(\widetilde{Z_t}\right)_{0\le t\le T}$, yang terdefinisi pada ruang peluang yang terfilter (*filtered probability space*) $(\Omega, \mathcal{F}, (\mathcal{F})_{0\le t\le T}, P)$. Proses pertama adalah nilai kini dari suku bunga, dan proses kedua mendefinisikan jumlah yang harus dibayar kepada pemegang opsi Amerika pada saat opsi dieksekusi. Diasumsikan juga bahwa peluang P adalah peluang penetapan harga opsi tersebut. Misal τ adalah waktu penghentian (*stoping time*), didefinisikan nilai awal dari opsi Amerika yaitu

$$V_0^* = \sup_{0\le\tau\le T} E[Z_\tau], \tag{15}$$

Dengan $Z_t \equiv \exp\left(-\int_0^t r_s\, ds\right)\tilde{Z}_t$ adalah nilai eksekusi yang terdiskon dari opsi tersebut. Untuk mencegah trivialitas, diasumsikan bahwa $V_0^* < \infty$; serta untuk beberapa $p > 1$, $\sup_{0\le t\le T}|Z_t| \epsilon L^P$, dan lintasan dari Z adalah kontinu kanan. Dengan asumsi tersebut, proses *snell envelope*

$$V_t^* \equiv ess\sup_{t\le\tau\le T} E[Z_\tau|\mathcal{F}_t] \tag{16}$$

adalah supermatingale, sehingga mempunyai dekomposisi

$$V_t^* = V_0^* + M_t^* - A_t^*, \tag{17}$$

dengan M^* adalah sebuah martingale yang bernilai 0 pada saat $t = 0$, dan A^* adalah suatu proses yang menaik dan terintegralkan *(previsible integrable increasing process*), juga bernilai 0 pada saat $t = 0$.

Teorema yang digunakan dalam menentukan harga opsi Amerika adalah bahwa

$$V_0^* = \inf_{M\in H_0^1} E[\sup_{0\le t\le T}(Z_t - M_t)], \tag{18}$$

dengan H_0^1 adalah ruang dari martingale-martingale M di mana $\sup_{0\le t\le T}|M_t| \in L^P$, dan sedemikian sehingga $M_0 = 0$. Batas bawah terbesar dicapai dengan mengambil $M = M^*$.

Berdasarkan [4] misalkan telah diketahui sebelumnya martingale M yang sesuai. Akan diintepretasikan dalam rangka perlindungan nilai (*hedging*). Dengan mempertahankan M tetap, dan sebuah batas atas untuk V_0^* yaitu rata-rata dari peubah acak

$$\eta \equiv \sup_{0\le t\le T}(Z_t - M_t). \tag{19}$$

Misalkan ditetapkan $\eta_t \equiv E(\eta|\mathcal{F}_t)$ untuk martingale tersebut tertutup dari sebelah kanan sebesar η, sehingga $\eta \equiv \eta_T$. Misalkan martingale M dianggap sebagai keuntungan dari proses perdagangan dari portfolio. Dengan demikian, jika kekayaan awal portfolio adalah η_0, maka kekayaan terdiskon pada waktu t menjadi $\eta_0 + M_t$. Persamaan (19) berakibat berlakunya pertidaksamaan berikut untuk setiap $t \in [0, T]$

$$Z_t \le \eta + M_t.$$

Dengan ekspektasi bersyarat $\mathcal{F}_t$ yang diberikan maka dapat dituliskan hubungan pertidaksamaan berikut

$$Z_t \le E[\eta_T - \eta_0|\mathcal{F}_t] + (M_t + \eta_0). \tag{20}$$

Interpretasi dari (20) adalah terhadap nilai Z_t terdiskon, yang harus dibayarkan ke pemegang opsi jika dieksekusi pada waktu t, akan mendapatkan lindung nilai dari nilai portofolio terdiskon.

Algoritme Monte Carlo bagi penentuan opsi *put* Amerika diringkaskan dalam langkah-langkah berikut:

- Menentukan input untuk simulasi ini yakni menentukan harga saham awal S_0, harga eksekusi K, nilai suku bunga bebas resiko r, volatilitas saham σ, dan waktu jatuh tempo T. Selanjutnya membangkitkan himpunan tanggal $t_0 < t_1 \le t_2 \le \ldots \le t_N = T$

di mana opsi mungkin dieksekusi.

- Membangkitkan harga saham S_t dengan membangkitkan *Brownian noise* W_t pada interval $[0, T]$ secara acak berdasarkan sebaran normal baku [0,1]. Setelah itu dengan menggunakan (2) dapat dibangkitkan harga saham S_t di sepanjang interval $[0, T]$.
- Setelah diperoleh output harga saham S_t, diperoleh nilai intrinsik Z_t di setiap titik waktu $t_0 < t_1 \leq t_2 \leq \ldots \leq t_N = T$ dengan $Z_t = \text{maks}(K - S_t)$. Selanjutnya dibangkitan pula nilai martingale M_t di sepanjang selang waktu itu juga. Proses ini diulang sebanyak n kali yang nantinya akan dicari nilai rata-rata nilai intrinsik Z_t maksimum.
- Misalkan X adalah vektor berdimensi n yang merekam nilai maksimum yang dicapai proses $(e^{-rt_i} Z_{t_i} - M_{t_i})_{0 \leq i \leq N}$ pada setiap *path sample* :

$$\boldsymbol{X}(m) = \underset{0 \leq i \leq N}{\text{maks}}[e^{-rt_i}(Z_{t_i}^m) - M_{t_i}^m].$$

- Selanjutnya tentukan nilai maksimum X_m sebanyak n kali untuk setiap harga saham awal S_0 yang berbeda.
- Selainnya ditentukan $V(t_0, W_0) = \frac{1}{n}\sum_{m=1}^{n} X(m)$ sebagai dugaan empiris dari nilai $E\left[sup_{0 \leq i \leq N}\left(e^{-rt_i} Z_{t_i} - M_{t_i}\right)\right]$.
- Langkah terakhir adalah menentukan nilai opsi *put* Amerika sebagai nilai rata-rata dari semua nilai maksimum X_m yang didapat dari setiap ulangan.

Metode Beda Hingga

Untuk menerapkan metode beda hingga pada suatu penyelesaian persamaan diferensial parsial beberapa hal perlu diperhatikan, yaitu: diskretisasi dari peubah suatu persamaan, bentuk aproksimasi beda hingga, kondisi syarat akhir dan syarat batas serta kestabilan dari skema beda hinga. Penilaian opsi *put* Amerika adalah penyelesaian pertaksamaan Black-Scholes (13) dan (14). Perhatikan bahwa peubah bebas yang menentukan nilai V adalah S dan t. Dengan demikian, berikut adalah langkah-langkah implementasi metode beda hingga dalam penilaian opsi *put* Amerika.

- Bidang (S,t) dipartisi menjadi $(M + 1) \times (N + 1)$ *grid*, dengan aproksimasi interval *grid* adalah ΔS dan Δt. Nilai dari opsi pada waktu t_i ketika harga saham S_j dinyatakan oleh:

$$v_j^i = v(j\Delta S, i\Delta) = v(S_j, t_i)$$

- Aproksimasi turunan parsial disajikan dalam persamaan-persamaan berikut:

$$\frac{\partial v}{\partial t} \approx \frac{v_j^{i+1} - v_j^i}{\Delta t}, \qquad \frac{\partial v}{\partial S} \approx \frac{v_{j+1}^i - v_j^i}{\Delta S}, \qquad \frac{\partial^2 v}{\partial S^2} \approx \frac{v_{j+1}^i - 2v_j^i + v_{j-1}^i}{\Delta S^2}.$$

- Syarat batas dan syarat akhir

$$v_0^i = K, \qquad v_M^i = 0, \qquad \text{dan} \qquad v_j^N = \max(K - j\Delta S, 0)$$

- Skema aproksimasi metode beda hingga dirumuskan sebagai berikut.

  Eksplisit:

$$\frac{v_j^{i+1} - v_j^i}{\Delta t} + \frac{rj\Delta S}{2\Delta S}\left(v_{j+1}^{i+1} - v_{j-1}^{i+1}\right) + \frac{\sigma^2 j^2 \Delta S^2}{2\Delta S^2}\left(v_{j+1}^{i+1} - 2v_j^{i+1} + v_{j-1}^{i+1}\right) - rv_j^i = 0$$

  Implisit:

$$\frac{v_j^{i+1} - v_j^i}{\Delta t} + \frac{rj\Delta S}{2\Delta S}\left(v_{j+1}^i - v_{j-1}^i\right) + \frac{\sigma^2 j^2 \Delta S^2}{2\Delta S^2}\left(v_{j+1}^i - 2v_j^i + v_{j-1}^i\right) - rv_j^{i+1} = 0$$

  Crank-Nicholson:

$$\begin{aligned}\frac{v_j^{i+1} - v_j^i}{\Delta t} &+ \frac{rj\Delta S}{4\Delta S}\left(v_{j+1}^{i+1} - v_{j-1}^{i+1} + v_{j+1}^i - v_{j-1}^i\right) \\ &+ \frac{\sigma^2 j^2 \Delta S^2}{4\Delta S^2}\left(v_{j+1}^{i+1} - 2v_j^{i+1} + v_{j-1}^{i+1} + v_{j+1}^i - 2v_j^i + v_{j-1}^i\right) \\ &= \frac{1}{2}\left(rv_j^i + rv_j^{i+1}\right)\end{aligned}$$

- Kriteria kestabilan metode beda hingga adalah sebagai berikut:

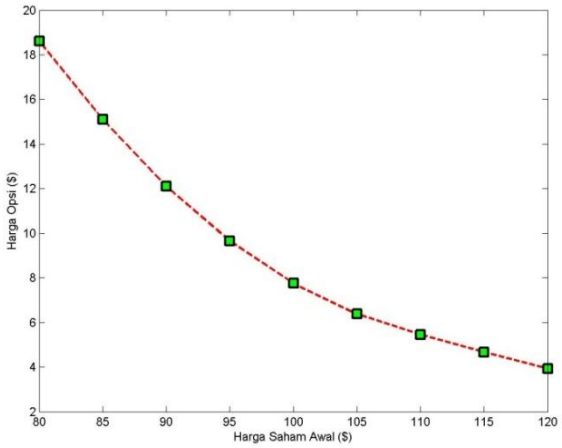
  Eksplisit, stabil jika $0 \le \sigma^2 j^2 \Delta t \le 1$.

  Implisit, stabil jika $\sin^2 \frac{k\pi}{2N} = 1$.

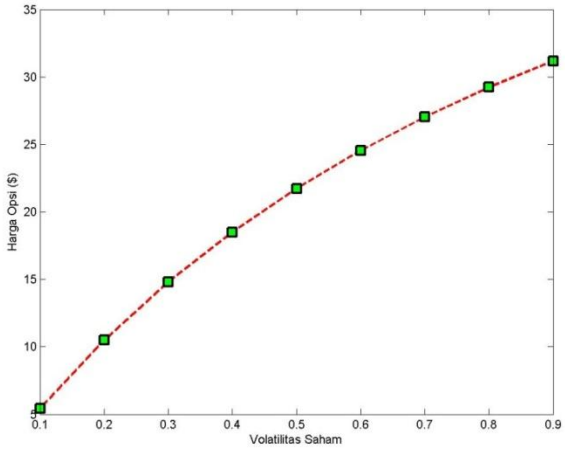
4 HASIL SIMULASI

Implementasi Metode Monte Carlo

Hasil implementasi Metode Monte Carlo untuk menentukan harga opsi *put* Amerika pada suatu kontrak opsi hipotetik dengan parameter tertentu untuk berbagai harga saham awal diberikan pada Gambar 1. Sedangkan hasil simulasi harga opsi untuk berbagai nilai parameter volatilitas diberikan pada Gambar 2.



Gambar 1 Hasil simulasi dengan metode Monte Carlo untuk harga opsi *put* Amerika dengan berbagai nilai harga saham awal.

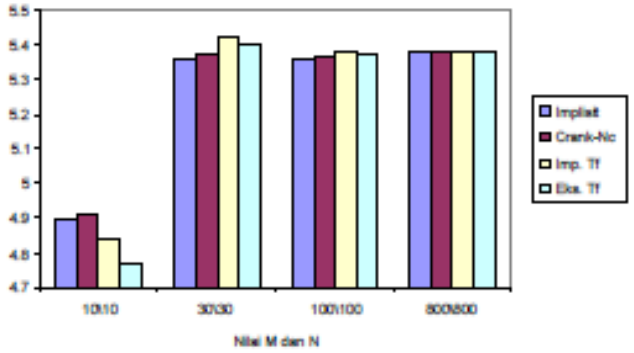


Gambar 2 Hasil simulasi dengan metode Monte Carlo untuk harga opsi put Amerika dengan berbagai nilai volatilitas saham.

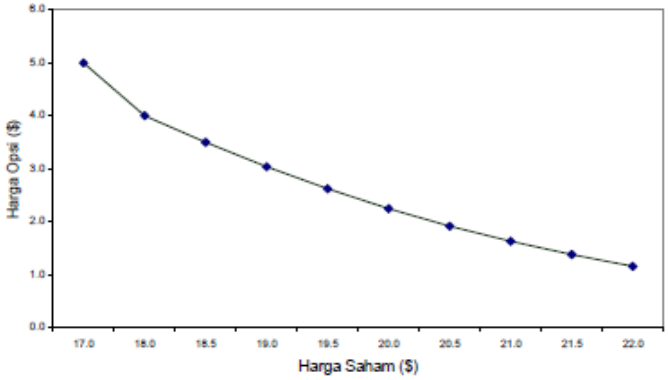
Hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa nilai opsi *put* Amerika dapat diperoleh dengan baik menggunakan metode Monte Carlo. Lebih lanjut hasil tersebut juga memberikan justifikasi bahwa nilai opsi cenderung lebih kecil bila harga saham awal lebih besar, serta nilai opsi cenderung lebih besar bila volatilitas lebih besar.

Implementasi Metode Beda Hingga

Implementasi metode ini untuk menentukan harga opsi *put* Amerika dilakukan dengan mengambil suatu contoh kasus kontrak opsi hipotetik dengan parameter tertentu. Perbandingan hasil perhitungan menggunakan berbagai pilihan banyaknya partisi, yaitu *M* partisi untuk peubah harga saham dan *N* partisi peubah waktu, diberikan dalam Gambar 3. Sedangkan hasil perhitungan harga opsi untuk berbagai nilai harga saham awal menggunakan metode implisit diberikan dalam Gambar 4.



Gambar 3 Simulasi harga opsi *put* Amerika dengan metode beda hingga.



Gambar 4 Hasil simulasi dengan metode beda hingga untuk harga opsi *put* Amerika dengan berbagai nilai harga saham awal.

Hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa nilai opsi *put* Amerika dapat diperoleh dengan baik menggunakan metode beda hingga. Di antara skema beda hingga yang disajikan pada Gambar 3, semua skema menunjukkan kecenderungan bahwa lebih banyak partisi peubah diberikan, maka hasil pendugaan harga opsi akan semakin seragam. Lebih

lanjut hasil pada Gambar 4 juga memberikan justifikasi bahwa nilai opsi cenderung lebih kecil bila harga saham awal lebih besar, sesuai dengan hasil yang diberikan dengan simulasi Monte Carlo.

5 KESIMPULAN

Nilai opsi put Amerika tidak memiliki penyelesaian eksplisit sehingga penyelesaian numerik dilakukan dengan kaidah keoptimalan nilai sekarang dari payoff opsi dengan cara memodifikasi persamaan Black-Scholes menjadi pertaksamaan dan menerapkan syarat batas serta syarat akhir. Penyelesaian numerik dengan metode Monte-Carlo serta metode beda hingga dapat menjadi pilihan.

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] Rogers LCG. 2002. Monte Carlo Valuation of American Options. *Mathematical Finance*. Vol. 12, No.3, 271-286.

PEMODELAN NILAI TUKAR RUPIAH TERHADAP DOLAR AMERIKA MENGGUNAKAN HIDDEN MARKOV

Berlian Setiawaty[1]
[1] Departemen Matematika, FMIPA-IPB
Jl Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680 Indonesia
bsetiawaty@yahoo.com

ABSTRAK

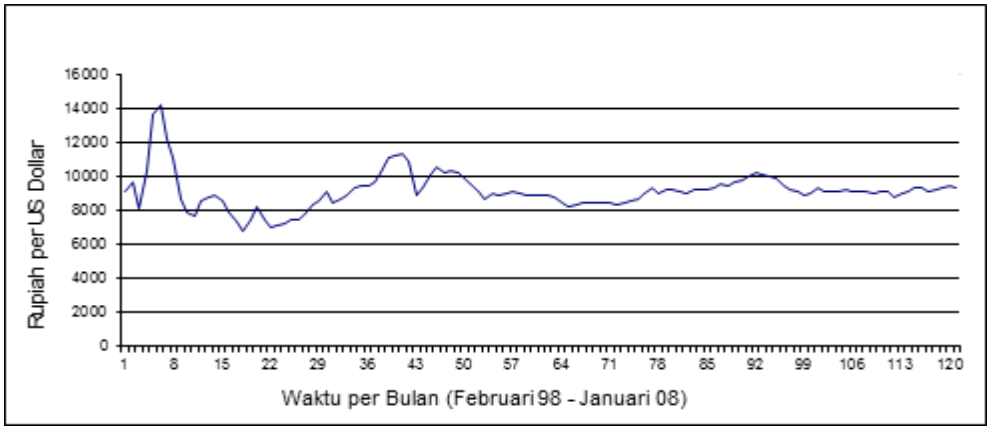
Perilaku nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Amerika dicoba dimodelkan dengan menggunakan *Hidden* Markov. Pendugaan parameter model dilakukan menggunakan Metode *Maximum Likelihood* dan pendugaan ulang menggunakan metode *Expectation Maximization*. Hasil yang diperoleh cukup baik karena sudah menggambarkan secara umum perilaku nilai tukar Rupiah. Galat antara nilai harapan dengan nilai sebenarnya relatif cukup kecil.

Kata kunci: Rantai Markov, *Hidden* Markov, Metode *Expectation Maximization*.

1 PENDAHULUAN

Sejarah Indonesia menunjukkan bahwa nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Amerika tidak saja dipengaruhi oleh faktor-faktor ekonomi, tetapi juga oleh hal-hal lain seperti, situasi politik dalam negeri, pergantian pemerintah, perubahan kebijakan pemerintah dan situasi keamanan. Perubahan nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Amerika dari waktu ke waktu sangat tidak beraturan dengan fluktuasi yang beragam. Gambar 1 menunjukkan fluktuasi nilai tukar Rupiah dari bulan Februari 1998 sampai dengan bulan Januari 2008.

Untuk memodelkan perilaku nilai tukar Rupiah dipilih model *hidden* Markov. Model ini mempunyai struktur matematika yang sangat kaya, sehingga dapat lebih fleksibel menggambarkan perilaku nilai tukar Rupiah. Dalam makalah ini di*review* jenis jenis model *hidden* Markov yang cocok untuk menggambarkan perilaku nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Amerika.



Gambar 1 Rata-rata nilai Tukar Rupiah terhadap $US Tahun 1998 s/d 2008
Sumber Data: www.bankofcanada.ca

2 MODEL *HIDDEN* MARKOV

Misalkan $\{Y_t\}$ adalah proses yang diamati, dalam hal ini adalah nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Amerika. Misalkan $\{X_t\}$ adalah proses yang menyebabkan terjadinya perubahan pada nilai tukar Rupiah. Penyebab terjadinya perubahan nilai tukar Rupiah dapat berupa: bencana alam, kebijakan pemerintah, kebijakan ekononi Amerika Serikat, dan lain sebagainya. Variabel t menyatakan waktu diskret. Proses $\{X_t\}$ dan $\{Y_t\}$ terdefinisi di ruang peluang (Ω, F, P).

Proses $\{X_t\}$ diasumsikan membentuk suatu rantai *Markov* dan tidak diamati atau tersembunyi (*hidden*) dibalik proses pengamatan $\{Y_t\}$, maka menurut Ellott et al [1], pasangan proses stokhastik $\{X_t, Y_t\}$ disebut model *hidden* Markov.

3 JENIS JENIS MODEL *HIDDEN* MARKOV

Telah banyak model *hidden* Markov yang dikembangkan oleh para ahli matematika, diantaranya adalah model yang dikembangkan oleh Ellott et al [1] dan Hamilton [2]. Perbedaan di antara model-model tersebut terletak pada persamaan yang menyatakan hubungan antara proses $\{Y_t\}$ dan $\{X_t\}$.

Jika pengamatan Y_t tidak hanya bergantung pada $\{X_t\}$ tetapi juga bergantung pada pengamatan sebelumnya, maka model *hidden* Markov membentuk suatu deret waktu dan disebut deret waktu *hidden* Markov.

Dalam tulisan ini dibahas tiga jenis model deret waktu *hidden* Markov sebagai berikut.

3.1 Deret waktu *hidden* Markov Hamilton

Deret waktu hidden Markov Hamilton (1990) berbentuk:

$$Y_t = c(X_t) + \phi(X_t)Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

di mana:

- $\{X_t\}$ adalah rantai Markov dengan ruang *state* $S = \{1,2\}$ dan $\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix}$ merupakan matriks peluang transisinya.
- $\{Y_t\}$ adalah proses yang diamati dan bernilai skalar.
- $\{\varepsilon_t\}$ adalah barisan peubah acak yang saling bebas dan berdistribusi Normal $N(0,\sigma^2)$.
- $c = (c_{1,}c_2)$ dan $\phi = (\phi_1, \phi_2) \in R^2$, dengan c_1, c_2, ϕ_1, dan ϕ_2 adalah konstanta real.
- $c(X_t) = c_{X_t}$ dan $\phi(X_t) = \phi_{X_t}$.

Model dicirikan oleh parameter $\phi = \left(c_1, c_2, \phi_1, \phi_2, \sigma^2, \mathbf{P}\right)$.

3.2 Deret Waktu *Hidden* Markov Satu Waktu Sebelumnya

Model deret waktu hidden Markov dengan mempertimbangkan pengamatan satu waktu sebelumnya berbentuk:

$$Y_t - \mu(X_t) = \phi(Y_{t-1} - \mu(X_{t-1})) + \varepsilon_t$$

di mana:

- $\{\varepsilon_t\}$ adalah barisan peubah acak yang saling bebas dan berdistribusi Normal $N(0,\ \sigma^2)$.
- $\{Y_t\}$ adalah proses yang diamati dan bernilai skalar

- $\{X_t\}$ adalah rantai Markov dengan ruang *state* $S = \{1, 2\}$ dan $\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix}$ merupakan matriks peluang transisinya.
- $\mu(X_t) = \langle \mu, X_t \rangle = \mu_{X_t}$, dengan $\langle .,. \rangle$ menyatakan hasil kali dalam di R^2 .
- $\phi,\ \mu_1$ dan μ_2 adalah konstanta real.

Model ini dicirikan oleh parameter $\phi = \left(\mu_1, \mu_2, \phi, \sigma^2, \mathbf{P}\right)$.

3.3 Deret Waktu *Hidden* Markov Dua Waktu Sebelumnya

Model deret waktu *hidden* Markov dengan mempertimbangkan pengamatan dua waktu sebelumnya berbentuk:

$$Y_t - \mu(X_t^*) = \phi_1(Y_{t-1} - \mu(X_{t-1})) + \phi_2(Y_{t-2} - \mu(X_{t-2}))\varepsilon_t$$

di mana:

- $\{\varepsilon_t\}$ adalah barisan peubah acak yang saling bebas dan berdistribusi Normal $N(0,\ \sigma^2)$.
- $\{Y_t\}$ adalah proses yang diamati dan bernilai skalar
- $\{X_t\}$ adalah rantai Markov dengan ruang *state* $S = \{1, 2\}$ dan $\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix}$ merupakan matriks peluang transisinya.
- $\mu(X_t) = \langle \mu, X_t \rangle = \mu_{X_t}$, dengan $\langle .,. \rangle$ menyatakan hasil kali dalam di R^2 .
- $\phi_1,\ \phi_2,\ \mu_1$ dan μ_2 adalah konstanta real.

Model ini dicirikan oleh parameter $\phi = \left(\mu_1, \mu_2, \phi_1, \phi_2, \sigma^2, \mathbf{P}\right)$.

4 PENDUGAAN PARAMETER MODEL HIDDEN MARKOV

Untuk menduga parameter model *hidden Markov* digunakan metode *maximum likelihood* dan untuk perhitungan numeriknya digunakan algoritme iteratif *Expetation Maximization* (EM).

4.1 Metode Maksimum Likelihood

Misalkan $\{P_\phi : \phi \in \Phi\}$ adalah koleksi ukuran peluang yang terdefinisi pada ruang (Ω, G) dan kontinu absolut terhadap P_0, di mana G adalah filtrasi lengkap yang dibangun oleh proses stokastik $\{X_t\}$ dan $\{Y_t\}$. Misalkan $\mathrm{Y} \subset \mathrm{G}$, dimana Y adalah filtrasi lengkap yang dibangun oleh proses stokastik $\{Y_t\}$. Definisikan fungsi *likelihood* untuk menentukan penduga parameter ϕ berdasarkan informasi Y sebagai

$$L(\phi) = E_0\left[\left.\frac{dP_\phi}{dP_0}\right|\mathrm{Y}\right]$$

dan penduga maksimum *likelihood* didefinisikan sebagai

$$\hat{\phi} \in \arg\max_{\phi \in \Phi} L(\phi).$$

4.2 Metode Expectation Maximization

Secara umum penduga maksimum likelihood $\hat{\phi}$ sulit dihitung secara langsung. Algoritma EM memberikan suatu metode iteratif untuk mengaproksimasi $\hat{\phi}$, dengan prosedur sebagai berikut.

Langkah 1: Set $p = 0$ dan pilih $\hat{\phi}_0$.

Langkah 2: [Langkah-E]

Set $\phi^* = \hat{\phi}_p$ dan hitung $Q\left(\phi, \phi^*\right) = E_{\phi^*}\left[\left.\log\frac{dP_\phi}{dP_{\phi^*}}\right|\mathrm{Y}\right]$

Langkah 3: [Langkah-M]

Tentukan $\hat{\phi}_{p+1} \in \arg\max_{\phi \in \Phi} Q\left(\phi, \phi^*\right)$

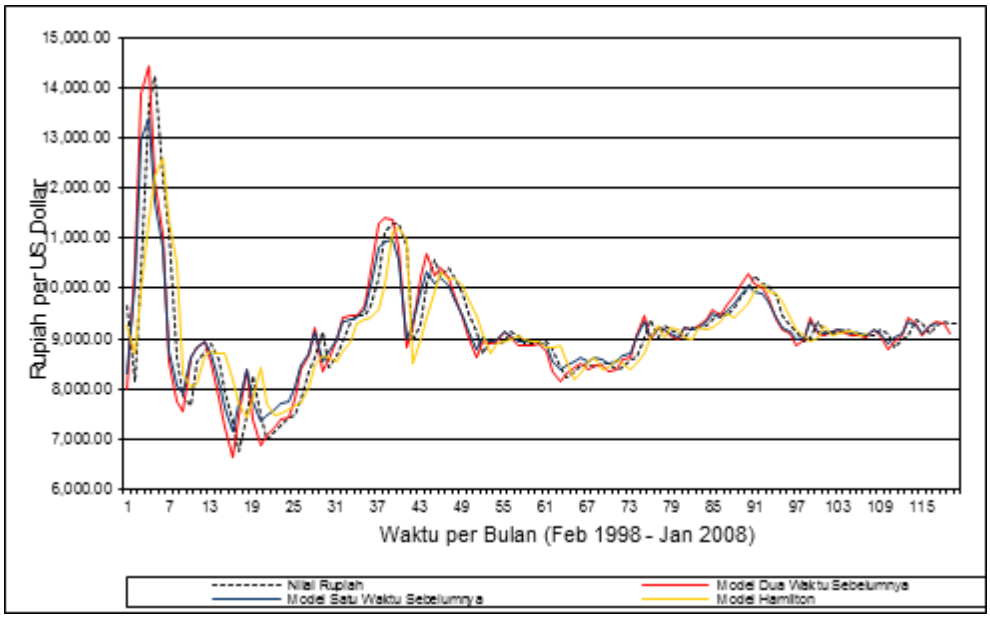
Langkah 4: $p \leftarrow p + 1$

Ulangi langkah 2 sampai kriteria berhenti dipenuhi.

Barisan $\left\{\hat{\phi}_p : p \geq 0\right\}$ yang diperoleh memberikan barisan $\left\{L\left(\hat{\phi}_p\right) : p \geq 0\right\}$ yang tak turun dan memenuhi $Q\left(\hat{\phi}_{p+1}, \hat{\phi}_p\right) \leq \log L(\hat{\phi}_{p+1}) - \log L(\hat{\phi}_p)$.

5 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan metode maximum log-likelihood, algoritme EM dan data $\{Y_t\}$, Setiawaty dan Hirasawa [3], Setiawaty dan santoso [4], serta Setiawaty dan Nikmah [5] secara berturut-turut dapat menduga parameter untuk ketiga model di atas. Dari model tersebut dibangkitkan kembali barisan penduga nilai tukar $\left\{\hat{Y}_t\right\}$ dan Setiawaty, Nikmah dan Ardana [6] memperoleh hasil seperti ditunjukkan Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Grafik nilai tukar Rupiah terhadap US Dolar

Galat yang diperoleh dari ketiga model tersebut ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut. Perhatikan bahwa rataan galat untuk deret waktu hidden Markov dua waktu sebelumnya hanya 0.59% dari nilai sesungguhnya.

Tabel 1 Perbandingan Nilai Tukar Rupiah terhadap US Dolar menggunakan Deret Waktu *Hidden* Markov Hamilton, Deret Waktu *Hidden* Markov Satu Waktu Sebelumnya, dan Deret Waktu *Hidden* Markov Dua Waktu Sebelumnya

Perbandingan	***Hidden* Markov Hamilton**	***Hidden* Markov Satu Waktu Sebelumnya**	***Hidden* Markov Dua Waktu Sebelumnya**
Rataan Galat	284,74 (3,07%)	114,50 (1,24%)	55,26 (0,59%)
Galat Max	2.328,49 (21,23%)	807,69 (5,68%)	220,02 (2,32%)
Galat Min	1,64 (0,016%)	0,29 (0,003%)	0,12 (0,0013%)

Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa makin panjang waktu dari deret *hidden* Markov, hasil yang diperoleh makin baik, tetapi kompleksitas perhitungan numeriknya makin tinggi. Harus dicari keseimbangan antara panjang deret waktu dan kompleksitas perhitungan numerik.

Hasil ini memberikan ide bahwa deret waktu *hidden* Markovdapat diterapkan pada masalah nilai tukar Rupiah. Yang diperlukan adalah mencari bentuk persamaan yang lain yang paling tepat dan membuat aplikasi *Mathematica* yang efisien.

5 KESIMPULAN

Model deret Waktu *hidden* Markov dua waktu sebelumnya cukup baik menjelaskan perilaku nilai tukar Rupiah terhadap $US. Hasil yang diperoleh lebih baik dibandingkan model *hidden* Markov Hamilton maupun model deret waktu *hidden* Markov satu waktu sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Ellott, R. J. Aggoun, L. dan Moore, J. B. !995. *Hidden Markov Models*, Springer Verlag, New York.

[2] Hamilton, J. D. 1990. Analysis of Time Series Subject to Changes in Regime. *Journal of Econometrics*, 45: 39 -70.

[3] Setiawaty B., Adharini, Y. dan Hirasawa. 2006. Pendugaan parameter deret waktu *Hidden* Markov Hamilton. *Jurnal Matematika dan Aplikasinya*, Vol 5, No 1.

[4] Setiawaty, B. dan Santoso D. 2008. Pendugaan parameter deret waktu satu waktu sebelumnya. *Jurnal Matematika dan Aplikasinya*, Vol 7, No 2.

[5] Setiawaty, B. dan Nikmah, S. F. 2009. Pendugaan parameter deret waktu satu waktu sebelumnya. *Jurnal Matematika dan Aplikasinya*, Vol 9, No 1.

[6] Setiawaty, B., Nikmah S.F. dan Ardana, N. K.K. 2009. Pemodelan nilai tukar Rupiah terhadap $US menggunakan deret waktu *hidden* markov. *Jurnal Matematika dan Aplikasinya*, Vol 9, No 2.

ANALISIS REGRESI LATEN PADA EFEK PLASEBO MENGGUNAKAN ALGORITMA *EM* (*EXPECTATION-MAXIMIZATION*)

Diana Purwandari[1], Endar H. Nugrahani[2], N. K. Kutha Ardana[3]

[1,2,3] Departemen Matematika, Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor
[1]diana_math_ipb@yahoo.com
[2]e_nugrahani@ipb.ac.id
[3]kuthaardana@gmail.com

ABSTRAK

Analisis regresi memodelkan bentuk hubungan antara peubah respons dengan satu atau lebih peubah prediktor. Analisis akan bertambah kompleks ketika melibatkan prediktor laten yang tidak teramati. Model regresi laten memainkan peran penting dalam pemodelan data dengan peubah laten, misalnya efek plasebo pada penyembuhan depresi. Pada model regresi laten ini, prediktor laten diasumsikan kontinu dan diduga menggunakan distribusi Beta. Parameter model diduga dengan algoritme *EM* (*Expectation-Maximization*). Implementasi pendugaan parameter model dilakukan dengan menggunakan *software* R 2.13.1. Hasil analisis data efek plasebo pada penyembuhan depresi menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi.

Kata kunci: regresi laten, algoritma *EM*, distribusi Beta, efek plasebo.

1 PENDAHULUAN

Analisis regresi mempelajari bentuk hubungan antara peubah respons (y) dengan satu atau lebih peubah prediktor (x) terutama untuk menelusuri pola hubungan yang modelnya belum diketahui. Untuk melihat hubungan antara peubah respons dan peubah prediktor secara simultan dapat menggunakan analisis regresi linear. Analisis regresi linear dibedakan menjadi dua, yaitu analisis regresi linear sederhana dan analisis regresi linear berganda. Perbedaan kedua analisis tersebut terletak pada banyaknya peubah prediktor. Analisis regresi linear sederhana terdapat satu peubah prediktor, sedangkan analisis regresi linear berganda terdapat lebih dari satu peubah prediktor [1].

Analisis akan bertambah kompleks ketika melibatkan peubah laten, yaitu peubah yang tidak teramati (*unobserved variable*). Sebuah model regresi dengan prediktor laten (tidak teramati) disebut regresi laten [2]. Salah satu kasus yang dapat diselesaikan dengan model regresi laten yaitu efek plasebo. Efek plasebo adalah efek sugesti yang membuat orang percaya untuk sembuh dengan sejenis obat tertentu. Keunggulan efek plasebo dapat

digunakan dalam berbagai hal, terutama dalam pengobatan dan penyembuhan. Salah satu penyakit yang bisa disembuhkan dengan efek plasebo adalah depresi. Metode yang digunakan untuk pendugaan model regresi laten yaitu algoritma *EM* (*Expectation Maximization*).

Tujuan utama dari penulisan makalah ini adalah menyajikan analisis model regresi laten, pendugaan parameter dari model regresi laten dengan menggunakan metode *maximum likelihood* dan algoritma *EM* (*Expectation-Maximization*), serta aplikasi model efek plasebo pada data pengobatan depresi.

2 MODEL REGRESI LATEN

Analisis multivariat merupakan salah satu jenis analisis statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan data yang digunakan berupa banyak peubah prediktor dan banyak peubah respons. Model regresi laten multivariat memiliki bentuk umum berikut [2]:

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{X\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \tag{1}$$

dengan

$\boldsymbol{Y}$: peubah respons *p*-variat,

$\boldsymbol{X}$: prediktor laten (tidak teramati) berdimensi *r*,

$\boldsymbol{\beta}$: parameter,

$\boldsymbol{\varepsilon}$: galat $\varepsilon \sim \mathbb{N}(\mathbf{0}, \Psi)$

Jika populasi terdiri dari dua sub populasi laten (orang yang mengalami efek plasebo dan orang yang tidak mengalami efek plasebo), maka prediktor laten pada persamaan (1) memiliki distribusi Bernoulli. Misalkan $p = P(x = 1)$ dan asumsikan bahwa ε menyebar distribusi $\mathbb{N}(\mathbf{0}, \boldsymbol{\Psi})$ dengan $\boldsymbol{\Psi}$ adalah matriks kovarian definit positif. Kepadatan marjinal $f(\boldsymbol{y})$ pada $\boldsymbol{y}$ dinamakan model campuran terbatas:

$$f(\boldsymbol{y}) = \sum_x f(x, \boldsymbol{y}) = (1-p)\mathbb{N}(\boldsymbol{y}; \boldsymbol{\mu}_1, \boldsymbol{\Psi}) + p\mathbb{N}(\boldsymbol{y}; \boldsymbol{\mu}_2, \boldsymbol{\Psi})$$

dengan $\boldsymbol{\mu}_1 = \beta_0$, $\boldsymbol{\mu}_2 = \beta_0 + \beta_1$ dan $(\mathbb{N}(\boldsymbol{y}; \boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Psi}))$ merupakan hasil fungsi kepadatan normal berganda dengan rataan vektor $\boldsymbol{\mu}$ dan matriks kovarians $\boldsymbol{\Psi}$.

Distribusi Bernoulli memiliki nilai 0 dan 1. Cara alami untuk menggeneralisasi model campuran terbatas adalah dengan mengganti prediktor Bernoulli $0-1$ oleh distribusi

kontinu pada interval (0,1) yang kepadatannya berbentuk U. Pilihan alami untuk distribusi pada x adalah distribusi beta dengan kepadatan $g(x;\, a, b)$ yang didefinisikan dalam parameter *a* dan *b*.

$$g(x; a, b) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} x^{a-1}(1-x)^{b-1} \tag{2}$$

dengan $0 < x < 1$.

Family beta menghasilkan berbagai bentuk fungsi kepadatan peluang, salah satunya fungsi kepadatan berbentuk U [5]. Kepadatan ini menyediakan generalisasi kontinu dari distribusi Bernoulli diskret. Kepadatan bersama untuk x dan $\boldsymbol{y}$ dalam persamaan (1) adalah

$$f(x, \boldsymbol{y}) = f(\boldsymbol{y}|x;\, \beta_0, \beta_1, \boldsymbol{\Psi}) g(x; a, b) = \mathbb{N}(\boldsymbol{y}; \beta_0 + \beta_1 x, \boldsymbol{\Psi}) g(x; a, b)$$

dengan $g(x; a, b)$ merupakan distribusi beta yang diberikan dalam persamaan (2). Kepadatan marjinal hasilnya adalah

$$f(\boldsymbol{y}) = \int_0^1 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\{-(\boldsymbol{y} - \beta_0 - \beta_1 x)' \boldsymbol{\Psi}^{-1} (\boldsymbol{y} - \beta_0 - \beta_1 x)/2\} g(x; a, b) dx.$$

3 PENDUGAAN PARAMETER

Model regresi multivariat biasanya diselesaikan dengan metode *maximum likelihood* untuk mendapatkan penduga parameter model. Akan tetapi model regresi laten tidak memiliki prediktor yang teramati, sehingga tidak tersedia data peubah prediktor. Sehingga, pendekatan berbeda harus dilakukan untuk menduga parameter. Pendugaan parameter yang digunakan pada model regresi laten adalah algoritma *EM* (*Expectation-Maximization*) yang akan dijelaskan berikut ini [3,4].

Algoritma *EM* (*Expectation-Maximization*)

Algoritma *EM* tergantung pada peubah yang tidak teramati. Algoritma *EM* dinilai layak digunakan karena terdapat dua tahapan pada setiap iterasi yaitu tahap *maximization* (*M-step*) dan tahap *expectation* (*E-step*). Algoritma ini mengulang tahapan *expectation* (*E-Step*) yang menghitung dugaan kemungkinan dengan memasukkan peubah tersembunyi seolah-olah peubah itu diamati. Nilai parameter yang diperoleh dari *M-Step* digunakan kembali untuk memulai *E-Step* berikutnya. Proses ini akan berulang sehingga dicapai konvergensi nilai *likelihood* [3].

Algoritma *Expectation-Maximization* adalah suatu algoritma yang sangat handal untuk pendugaan parameter dengan menggunakan metode *maximum likelihood* dari fungsi *likelihood* pada data yang tidak teramati [4]. Proses algoritma *EM* dilakukan dengan dua tahap, seperti yang dijelaskan berikut ini.

<u>*E-Step* (Tahap *Expectation*)</u>

Tahap ini merupakan tahapan untuk menghitung ekspektasi bersyarat dari fungsi *loglikelihood* dengan prediktor laten. Misalkan $\boldsymbol{\beta}$ adalah suatu nilai awal, maka *E-Step* didefinisikan

$$E(\ln L(\boldsymbol{\beta};\boldsymbol{\Psi})|\boldsymbol{Y})$$

dalam aplikasi pada efek placebo, $\boldsymbol{\beta}$ didefinisikan sebagai matriks koefisien

$$\boldsymbol{\beta} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\beta}_0{}' \\ \boldsymbol{\beta}_1{}' \end{pmatrix}$$

dengan $\boldsymbol{\beta}$ berdimensi $2 \times p$, masing-masing kolom p dari $\boldsymbol{\beta}$ merupakan *intercept* dan *slope* koefisien regresi untuk setiap peubah respons p. Model regresi laten yang digunakan adalah persamaan (1). *Likelihood* untuk model regresi laten tersebut dinyatakan sebagai berikut :

$$L(\boldsymbol{\beta},\boldsymbol{\Psi}) = (2\pi)^{-\frac{np}{2}}|\boldsymbol{\Psi}|^{-\frac{n}{2}}\exp\{-tr[\boldsymbol{\Psi}^{-1}(\boldsymbol{Y}-\boldsymbol{X\beta})'(\boldsymbol{Y}-\boldsymbol{X\beta})]/2\}.$$

Misalkan $\widetilde{\boldsymbol{X}} = E[\boldsymbol{X}|\boldsymbol{Y}]$ dan $\left(\widetilde{\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X}}\right) = E[\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X}|\boldsymbol{Y}]$, maka nilai harapan bersyarat berikut

$$E[tr[\boldsymbol{\Psi}^{-1}(\boldsymbol{Y}-\boldsymbol{X\beta})'(\boldsymbol{Y}-\boldsymbol{X\beta})]|\boldsymbol{Y}] = tr[\boldsymbol{\Psi}^{-1}\{\boldsymbol{Y}'\boldsymbol{Y}-\boldsymbol{Y}'\widetilde{\boldsymbol{X}}\boldsymbol{\beta}-\boldsymbol{\beta}'\widetilde{\boldsymbol{X}}'\boldsymbol{Y}+\boldsymbol{\beta}'(\widetilde{\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X}})\boldsymbol{\beta}\}]$$

dengan $\left(\widetilde{\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X}}\right)$ dan $\boldsymbol{\Psi}$ definit positif, serta $\widehat{\boldsymbol{\beta}} = (\widetilde{\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X}})^{-1}\widetilde{\boldsymbol{X}}'\boldsymbol{Y}$ memberikan hasil tahap *E-Step* sebagai

$$\begin{aligned} E(\ln L(\boldsymbol{\beta};\boldsymbol{\Psi})|\boldsymbol{Y}) \\ &= -\frac{np}{2}\ln(2\pi) - \frac{n}{2}\ln|\boldsymbol{\Psi}| \\ &- 0.5tr\left[\boldsymbol{\Psi}^{-1}\left\{\boldsymbol{Y}'\boldsymbol{Y}-\widehat{\boldsymbol{\beta}}'\left(\widetilde{\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X}}\right)\boldsymbol{\beta}-\boldsymbol{\beta}'\left(\widetilde{\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X}}\right)\widehat{\boldsymbol{\beta}}+\boldsymbol{\beta}'\left(\widetilde{\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X}}\right)\boldsymbol{\beta}\right\}\right]. \end{aligned}$$

M-Step (Tahap *Maximization*)

Tahap ini merupakan tahapan untuk mendapatkan parameter baru $\widehat{\boldsymbol{\beta}}$ dengan memaksimumkan $E(lnL(\boldsymbol{\beta};\boldsymbol{\Psi})|\boldsymbol{Y})$, yang diperoleh dengan menyelesaikan persamaan berikut:

$$\frac{\partial(E(\ln L(\boldsymbol{\beta};\boldsymbol{\Psi})|\boldsymbol{Y}))}{\partial\boldsymbol{\beta}} = 0.$$

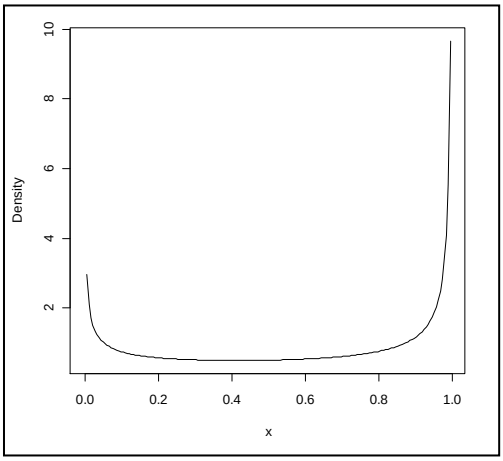
Dengan demikian diperoleh

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}} = \boldsymbol{\beta} = \left(\widetilde{\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X}}\right)^{-1}\widetilde{\boldsymbol{X}}'\boldsymbol{Y}. \tag{3}$$

Proses *E-Step* dan *M-Step* ini dilakukan terus secara iteratif sampai diperoleh suatu nilai dugaan parameter $\widehat{\boldsymbol{\beta}}$ yang konvergen [3,4].

4 APLIKASI PADA EFEK PLASEBO

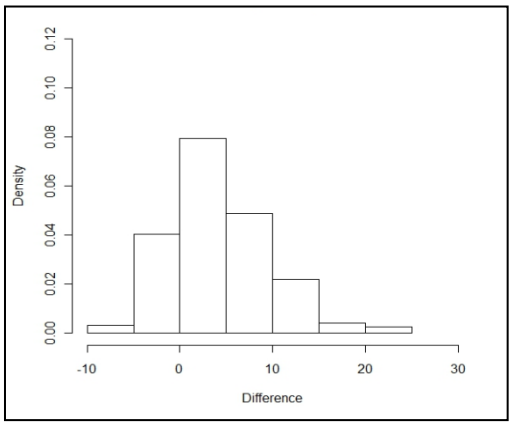
Untuk mengaplikasikan model regresi laten, pertama dilakukan pembangkitan distribusi Beta untuk prediktor laten sebagai berikut. Sebanyak 50 himpunan data dibangkitkan dengan masing-masing ukuran sampel n = 100 dengan parameter tertentu. Sebagai ilustrasi, peubah laten x menyebar distribusi Beta yang dibangkitkan dengan parameter a = 0.5 dan b = 0.3 menghasilkan kerapatan seperti diberikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Kurva kerapatan Beta dengan a = 0.5 dan b = 0.3 untuk peubah laten x.

Kurva pada Gambar 1 tersebut merupakan kurva distribusi Beta dengan x peubah laten yang merupakan fungsi kerapatan berbentuk U. Galat diketahui menyebar normal dengan rataan $\mu = 0$ dan standar deviasi $\sigma = 0.5$. Hasil ini mendukung asumsi bahwa terdapat dua kelas berbeda dari subjek, yaitu kelompok individu yang mengalami efek plasebo dan kelompok yang tidak mengalaminya.

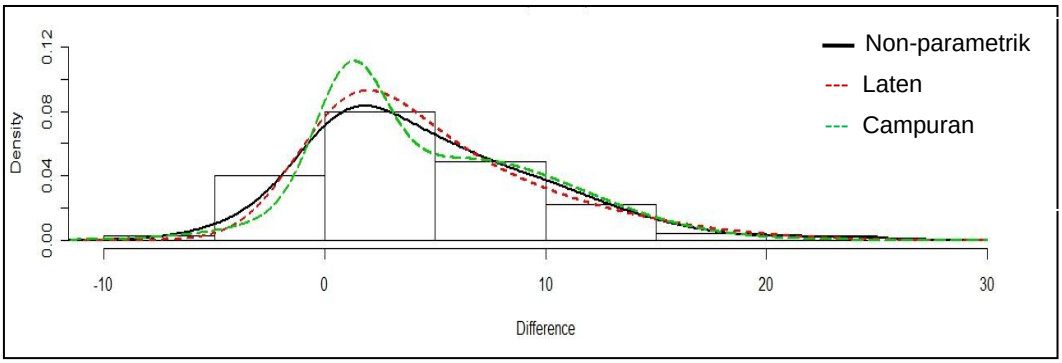
Aplikasi analisis regresi laten dilakukan terhadap hasil penelitian depresi yang diberikan oleh Tarpey dan Petkova [2]. Jumlah responden depresi yang diamati adalah sebanyak 393 orang pasien depresi rawat jalan terhadap respon plasebo dalam satu minggu. Perubahan tingkat gejala depresi dari awal sampai akhir minggu pertama diukur pada skala *Hamilton Depression Rating* (Ham-D). Data respon pasien tersebut disajikan dalam bentuk histogram frekuensi relatif yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Histogram data pasien depresi rawat jalan.

Histogram pada Gambar 2 menunjukkan bahwa pasien depresi yang mendapatkan plasebo ternyata lebih cenderung mengalami efek perubahan positif. Efek plasebo telah diketahui ada di penelitian depresi dan efek ini memberikan pengaruh untuk meningkatkan suasana hati. Dengan demikian, tampaknya masuk akal atribut peubah laten untuk efek plasebo dalam model ini.

Pendekatan kontinu distribusi peluang dari perubahan respon pasien depresi dari awal sampai akhir minggu pertama menunjukkan kurva kerapatan non-parametrik bagi peubah respon y seperti terlihat pada Gambar 3.



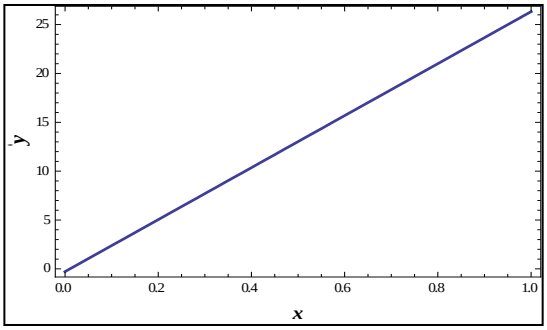
Gambar 3 Histogram penurunan depresi.

Kurva pada Gambar 3 merupakan suatu pendekatan kerapatan non-parametik dari y yang menunjukkan distribusi miring (condong) kanan. Perubahan positif menunjukkan berbagai derajat peningkatan antara subjek yang relatif baik. Kurva solid merupakan perkiraan kepadatan non-parametrik, kurva putus-putus merah merupakan perkiraan kepadatan regresi laten, dan kurva hijau putus-putus merupakan perkiraan kepadatan campuran dua komponen terbatas. Distribusi non-parametrik bagi peubah respon *y* yang akan digunakan dalam analisis.

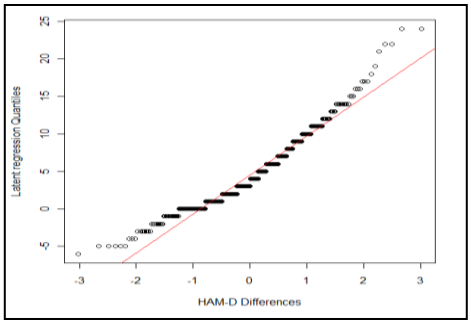
Selanjutnya peubah respon *y* diregresikan terhadap peubah prediktor *x* menggunakan algoritma *EM* sehingga diperoleh penduga (3) yang konvergen. Pendugaan parameter model dilakukan dengan menggunakan *software* R 2.13.1, dengan listing program yang diberikan oleh [2]. Hasil pendugaan persamaan regresi laten adalah

$$\hat{y} = -0.279 + 26.604\, x$$

Secara grafis, persamaan model regresi laten tersebut diberikan pada Gambar 4. Untuk menguji kesesuaian model, diberikan plot kuantil-kuantil dari data regresi pada Gambar 5. Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4, gradien positif pada persamaan regresi bermakna bahwa semakin besar nilai efektivitas plasebo maka akan memberikan perubahan suasana hati yang semakin tinggi. Berdasarkan Gambar 5, pola pancaran titik-titik untuk model regresi laten hampir membentuk garis lurus tetapi pada ekor kanan menyimpang dari rentang data. Hal ini dikarenakan terdapat dua kelompok pada data pasien, yaitu kelompok yang tidak ada pengaruh efek plasebo dan kelompok yang kuat pengaruh plasebo.



Gambar 4 Grafik dugaan model regresi laten.



Gambar 5 Plot kuantil-kuantil model regresi laten untuk data depresi.

Untuk pengujian kesesuaian pendugaan, R^2 yang diperoleh sebesar 0.95. Koefisien R^2 ini menunjukkan bahwa pendekatan model regresi laten adalah memiliki kesesuaian yang tinggi untuk data efek plasebo tersebut.

5 KESIMPULAN

Model regresi dengan prediktor laten dirumuskan serupa dengan model umum regresi multivariat. Pendugaan parameter regresi tetapi tidak dapat dilakukan dengan metode *maximum likelihood* sederhana, melainkan dengan algoritma EM (*Expectation-Maximization*). Hasil pendugaan model regresi laten memberikan koefisien gradien perubahan positif, yang bermakna bahwa semakin besar nilai efektivitas plasebo maka akan memberikan perubahan suasana hati yang semakin tinggi. Hasil analisis juga menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Draper N, Smith H. 1992. *Analisis Regresi Terapan.* Ed ke-2. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

[2] Tarpey T, Petkova E. 2010. Latent regression analysis. *Statistical Modelling.* 10(2): 133-158.

[3] Dempster AP, Laird NM, Rubin D. 1997. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society*. B 39: 1-38.

[4] McLachlan GJ, Krishnan T. 2008. *The EM Algorithm and Extension*. Ed ke-2. New Jersey: J Wiley.

[5] Johnson NL, Kotz S, Balakrishnan N. 1995. *Continuous Univariate Distributions.* New York: J Wiley.

IDENTIFIKASI MODEL KONSUMSI GAS CO_2 DI ATMOSFER UNTUK MENDAPATKAN INTERAKSI UNSUR-UNSUR UTAMA IKLIM YANG STABIL

Rina Ratianingsih[1] dan Agus Indra Jaya[2]

[1,2] Jurusan Matematika FMIPA Universitas Tadulako, Kampus UNTAD Bumi Tadulako Tondo Palu Sulteng, HP, 081809065742, email: ratianingsih@yahoo.com

ABSTRAK

Hutan dikenal sebagai paru-paru dunia karena kemampuannya mengubah gas CO_2 di atmosfer menjadi gas O_2. Implikasinya, hutan dapat berperan pula sebagai pengendali interaksi unsur-unsur utama iklim yaitu tekanan udara dan suhu.Penelitian ini meninjau interaksi dinamis antara unsur-unsur utama iklim tersebut dengan konsentrasi gas CO_2 di atmosfer.Interaksi tersebut dinyatakan dalam sistem persamaan diferensial tak linier yang diamati kestabilannya di sekitar titik kritis melalui matriks Jacobian sistem.Kestabilan diidentifikasi berdasarkan bagian real dari nilai eigen matriks tersebut. Analisis kestabilan menunjukkan bahwa parameter penenentu kestabilan sistem adalah laju pelepasan kalor dan laju konsumsi gas CO_2 di atmosfer. Penelitian ini memberikan hasil identifikasi model konsumsi gas CO_2sebagai fungsi dari laju produksi gas CO_2di atmosfir. yang menjadikan sistem terjaga kestabilannya. Model ini dapat digunakan dalam rancangan pengendalian iklim berbasis ketersediaan area hijau dimana area hutan didisain berdasarkan intensitas produksi CO_2.Melalui sistem pengendalian iklim yang baik produktivitas pertanian diharapkan dapat terjaga dari gangguan.

Kata Kunci :*Kestabilan, Matriks Jacobian, Suhu, Tekanan Udara, Titik Kritis*

1 PENDAHULUAN

Fenomena pemanasan global yang berdampak buruk bagi iklim perlu dikendalikan agar produktifitas pertanian terjaga dari gangguan. Upaya pengendalian iklim diantaranya dapat dilakukan dengan mengatur interaksi unsur-unsur utama pembangunnya, yaitu suhu dan tekanan udara. Efek rumah kaca (ERK) menjadi sesuatu yang harus dihindari karena dapat mengakibatkan kenaikan suhu dan tekanan udara di atmosfer. Akibatnya konsentrasi gas CO_2 di atmosfer, sebagai salah satu gas yang memberi pengaruh terhadap fenomena ERK, perlu dikendalikan pula.

Peningkatan konsentrasi gas CO_2 di atmosfer sebagian besar diakibatkan oleh aktifitas industri dan kendaraan bermotor yang dewasa ini meningkat pesat jumlahnya. Tingginya produksi gas CO_2 harus diimbangi dengan ketersediaan lahan hijau agar terjadi

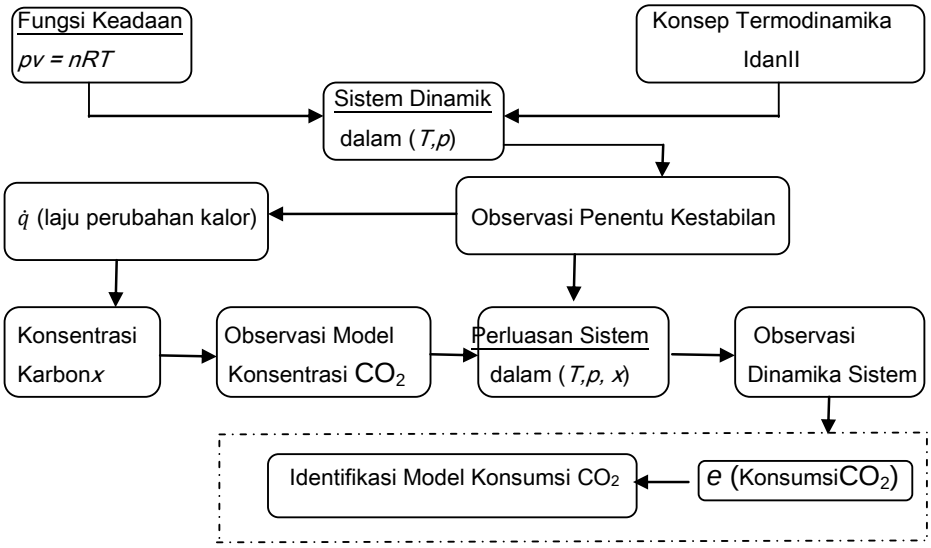
keseimbangan antara produksi dan konsumsi gas tersebut. Mengingat interaksi kedua unsur utama iklim dapat diamati secara matematis melalui hukum thermodinamika, model konsumsi gas CO_2 yang membuat interaksi unsur-unsur utama iklim tetap stabil dapat pula diidentifikasi. Hal ini merupakan upaya pengendalian iklim berbasis ketersediaan area hijau dimana area tersebut didisain berdasarkan intensitas produksi CO_2.

Melalui hukum thermodinamika yang ditinjau pada kondisi gas ideal, Jaya [1] menggambarkan interaksi antara suhu dan tekanan udara di atmosfer dalam bentuk sistem persamaan diferensial tak linier. Pengamatan terhadap kestabilan perluasan sistem tersebut menunjukkan adanya peran penting laju perubahan kalor sebagai penentu kestabilan sistem. Perluasan sistem tersebut selanjutnya ditinjau dalam Jaya [2] untuk mendapatkan model interaksi antara suhu, tekanan udara dan konsentrasi gas CO_2 di atmosfer. Pengamatan terhadap kestabilan perluasan sistem meperlihatkan peluang untuk mengidentifikasi faktor konsumsi gas CO_2 di atmosfer agar diperoleh kondisi yang stabil [3].

Identifikasi model konsumsi gas CO_2 di atmosfer secara matematis dapat dilakukan melalui salah satu persamaan pembangun dari sistem yang merepresentasikan interaksi antara suhu, tekanan udara dan konsentrasi gas CO_2 di atmosfer [1]. Persamaan tersebut yang menggambarkan perubahan konsentrasi gas CO_2 di atmosfer diadopsi dari Sutimin [4] yang konstruksinya dari persamaan logistik dan persamaan Michaelis-Menten. Dalam penelitian ini persamaan pembangun disusun berdasarkan faktor produksi dan konsumsi gas CO_2 tanpa melibatkan faktor reaerasi. Dimunculkan pula kondisi yang harus dipenuhi oleh model bahwa pengaruh faktor produksi gas CO_2 harus didominasi oleh faktor konsumsinya.

2 METODE PENELITIAN

Skema yang menggambarkan *state of the art* identifikasi model konsumsi gas CO_2 dapat dilihat pada diagram alir berikut ini :



Pada diagram alir tersebut, identifikasi model konsumsi gas CO_2 diposisikan pada kotak yang bertanda garis putus-putus. Identifikasi diamati melalui model matematika yang merepresentasikan interaksi antara suhu, tekanan udara dan konsentrasi gas CO_2 di atmosfer dengan langkah-langkah berikut :

1. Tentukan titik-titik kritis sistem
2. Apabila titik-titik kritis tersebut bukan titik kritis nol (0,0,0) maka lakukan transformasi koordinat sedemikian hingga titik-titik kritis tersebut merupakan titik nol dalam sistem koordinat yang baru.
3. Tentukan matriks Jacobian sistem untuk masing-masing titik kritis.
4. Tentukan nilai-nilai eigen matriks representasi perluasan sistem dari matriks Jacobian yang bersesuaian.
5. Tentukan kurva yang mengaitkan konsumsi gas CO_2 dan produksi gas CO_2 untuk nilai eigen sama dengan nol.

Persamaan yang merepresentasikan kurva yang diperoleh pada langkah 5 adalah model konsumsi gas CO_2. Kurva tersebut menjadi batas perubahan kestabilan sistem bila terjadi perubahan konsumsi gas CO_2.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Persamaan Pembangun

Interaksi antara suhu dan tekanan udara di atmosfer dalam Jaya [2] digambarkan sebagai sistem persamaan diferensial tak linier yang dibangun dari hukum thermodinamika yang diterapkan pada gas ideal sebagai berikut :

$$\dot{T} = \frac{\dot{q}\,[\propto p\dot{q} + C_p - T\dot{q}]}{C_p[C_p - K\propto - \dot{q}]} \tag{1.a}$$

$$\dot{p} = \frac{\dot{q}\,[K - p\dot{q}]}{[C_p - K\propto - \dot{q}]} \tag{1.b}$$

Mengingat pada sistem tersebut laju perubahan kalor q memiliki peran penting terhadap kestabilannya, dilakukan perluasan sistem dengan melibatkan model yang menggambarkan perubahan konsentrasi gas CO_2 di atmosfer yang diadopsi dari Sutimin [4]. Perluasan sistem tersebut dinyatakan dalam Jaya [1] sebagai berikut :

$$\dot{T} = \frac{\dot{q}\,[\propto p\dot{q} + C_p - T\dot{q}]}{C_p[C_p - K\propto - \dot{q}]} \tag{2.a}$$

$$\dot{p} = \frac{\dot{q}\,[K - p\dot{q}]}{[C_p - K\propto - \dot{q}]} \tag{2.b}$$

$$\dot{x} = b\left(\frac{T}{p}\right)(1 - cx) - \frac{ex}{1+x} \tag{2.c}$$

Pengamatan terhadap perluasan sistem menunjukkan bahwa e (konsumsi gas CO_2) memiliki peran dalam penentuan kestabilan sistem. Untuk itu akan diidentifikasi model konsumsi gas CO_2 yang ditentukan melalui analisa kestabilan.

3.2 Analisa Kestabilan

3.2.1 Titik Kritis

Titik-titik kritis perluasan sistem diperoleh dengan memandang sistem persamaan (2.a), (2.b) dan (2.c) pada kondisi stagnan dimana sistem tersebut tidak mengalami perubahan. Titik-titik kritis tersebut adalah $T_1 = \left(0, -\frac{C_p}{\alpha\dot{q}}, 0\right)$ dan $T_2 = \left(\frac{\alpha K + C_p}{\dot{q}}, \frac{K}{\dot{q}}, \frac{\alpha K + C_p}{K}\right)$.

3.2.2 Transformasi Koordinat

Mengingat titik-titik kritis yang diperoleh adalah bukan (0,0,0) maka dilakukan transformasi koordinat dengan menyatakan $T = U + T^*$, $P = V + P^*$ dan $X = W + X^*$ sehingga diperoleh transformasi sistem dalam koordinat (U, V, W) yang memiliki titik kritis nol (0,0,0). Untuk T_1, $T^* = 0$, $P^* = -\frac{C_p}{\alpha\dot{q}}$ dan $X^* = 0$, sedangkan T_2, $T^* = \frac{\alpha K + C_p}{\dot{q}}$, $P^* = \frac{K}{\dot{q}}$ dan $X^* = \frac{\alpha K + C_p}{K}$.

3.2.3 Matriks Jacobian

Transformasi sistem diamati kestabilannya melalui linearisasi sistem dari matriks Jacobian yang dievaluasi di sektar titik kritis. Untuk T_1dan T_2 diperoleh berturut-turut matriks Jacobian berikut :

$$J_1 = \begin{bmatrix} -\frac{\dot{q}}{C_p - K\alpha - \dot{q}} & -\frac{\dot{q}^2}{C_p - (C_p - K\alpha - \dot{q})} & \frac{\dot{q}^2\alpha}{C_p - (C_p - K\alpha - \dot{q})} \\ 0 & -\frac{\dot{q}^2}{C_p - K\alpha - \dot{q}} & 0 \\ -\frac{b\alpha\dot{q}}{C_p} & 0 & -e \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$J_2 = \begin{bmatrix} j_{11} & j_{12} & j_{12} \\ j_{21} & j_{22} & j_{23} \\ j_{31} & j_{32} & j_{33} \end{bmatrix} \tag{4}$$

dengan $j_{11} = \frac{\dot{q} - 2K\alpha - C_p}{C_p(C_p - K\alpha - \dot{q})}$, $j_{12} = -\frac{\dot{q}^2}{C_p - (C_p - K\alpha - \dot{q})}$, $j_{13}\frac{\dot{q}^2\alpha}{C_p - (C_p - K\alpha - \dot{q})}$,$j_{21} = 0$, $j_{22} = -\frac{\dot{q}^2}{C_p - K\alpha - \dot{q}}$, $j_{23} = 0$, $j_{31} = -\frac{b\left(1 - \frac{c(K\alpha + C_p)}{K}\right)\dot{q}}{K}$, $j_{32} = -\frac{b(K\alpha + C_p)\left(1 - \frac{c(K\alpha + C_p)}{K}\right)\dot{q}}{K^2}$ dan .$j_{33} = \frac{b(K\alpha + C_p)c}{K} - \frac{e}{1 + \frac{K\alpha + C_p}{K}} + \frac{e(K\alpha + C_p)}{K + (K\alpha + C_p)^2}$

3.2.4 Nilai Eigen

Nilai eigen (λ) dari linearisasi sistem menentukan kestabilan sistem disekitar titik kritisnya. Nilai tersebut diperoleh dari determinan matriks $(J - \lambda I)$ yang bernilai nol dengan J adalah matriks Jacobian. Untuk matriks Jacobian J_1 diperoleh nilai-nilai eigen sebagai berikut :

$$\lambda_1 == -\frac{\dot{q}^2}{C_p - K\alpha - \dot{q}} \quad \text{dan} \quad \lambda_{23} = -\frac{1}{2}\frac{1}{(C_p - K\alpha - \dot{q})C_p}\left(eC_p^2 - C_p eK\alpha + C_p\dot{q} - eC_p\dot{q} - \sqrt{\gamma}\right)$$

dengan

$$\gamma = e^2C_p^4 - 2e^2C_p^3K\alpha - 2eC_p^3\dot{q} + e^2C_p^2K^2\alpha^2 + 2eC_p^2\dot{q}K\alpha + \dot{q}^2C_p^2 + 2eC_p^2q^2 + \rho$$

dengan $\rho = eC_p^2q^2 - 4\dot{q}^3b\alpha^2C_p + 4\dot{q}^3b\alpha^3K + 4\dot{q}^4b\alpha^2$.

Sedangkan untuk matriks Jacobian J_2 diperoleh nilai-nilai eigen berikut :

$\lambda_1 == -\frac{\dot{q}^2}{C_p - K\alpha - \dot{q}}$ dan $\lambda_{23} = f\left(b, c, e, K, \alpha, C_p, \dot{q}\right)$ sebagai fungsi polinom yang sangat rumit.

3.2.5 Kurva Konsumsi Gas CO_2

Model konsumsi gas CO_2 yang menghasilkan interaksi unsur-unsur utama yang stabil dapat ditentukan dengan menentukan kurva konsumsi gas CO_2 untuk nilai eigen nol. Kurva tersebut dikaitkan dengan produksi gas CO_2 sehingga titik-titik pada kurva merupakan batas konsumsi minimal gas CO_2 yang harus diupayakan agar tercipta sistem yang stabil untuk masing-masing titik kritis.

Untuk titik kritis T_1kurva konsumsi gas CO_2 terhadap produksi gas CO_2 dinyatakan sebagai fungsi linier *e* terhadap *b* sebagai berikut:

$$e = \frac{\dot{q}^2\alpha^2(C_p - K - \dot{q})}{C_p^2(C_p - K\alpha - \dot{q})}b \tag{5}$$

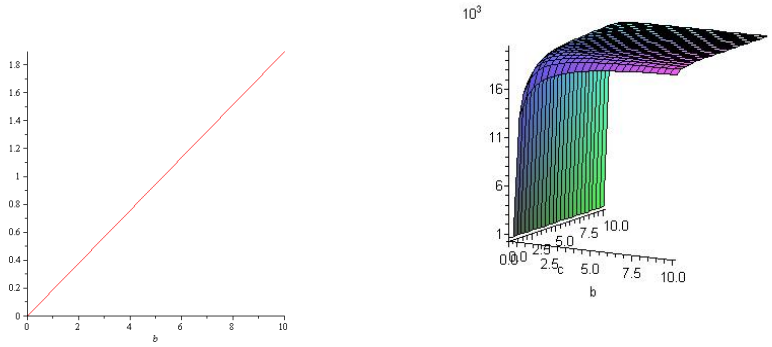
Untuk titik kritis T_2 kurva konsumsi gas CO_2 terhadap produksi gas CO_2 dinyatakan sebagai fungsi polinom yang memuat suku-suku linier dan akar dari fungsi kuadrat dalam *b* dan *c*.

3.3 Simulasi

3.3.1 Kurva Konsumsi Gas CO_2

Untuk suatu nilai $K, \alpha, C_p, \dot{q}$ yang diberikan, kurva konsumsi gas CO_2 untuk T_1berupa garis lurus yang membagi daerah di bidang (*e*,*b*) menjadi dua bagian (lihat Gambar 1.a). Daerah di atas kurva adalah daerah dimana konsumsi gas CO_2 melebihi produksi gas CO_2 nya, sedangkan daerah di bawah kurva merupakan daerah dimana produksi gas CO_2 melebihi konsumsi gas CO_2 nya.

Untuk suatu nilai $K, \alpha, C_p, \dot{q}$ yang diberikan, kurva konsumsi gas CO_2 untuk T_2 berupa permukaan yang membagi daerah di bidang (*e*,*b*,*c*) menjadi dua bagian (lihat Gambar 1.b). Daerah di atas permukaan tersebut adalah daerah dimana konsumsi gas CO_2 melebihi produksi gas CO_2 nya, sedangkan daerah di bawah permukaan merupakan daerah dimana produksi gas CO_2 melebihi konsumsi gas CO_2 nya.



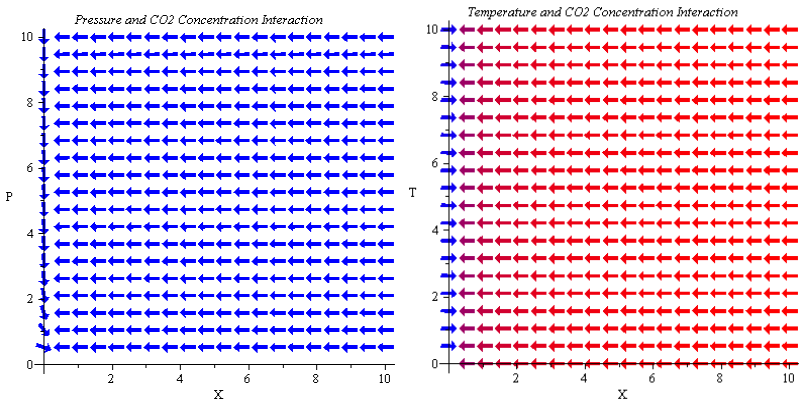
(a) (b)

Gambar 1 (a) Kurva Konsumsi gas CO_2 untuk Titik Kritis T_1
(b) Kurva Konsumsi gas CO_2 untuk Titik Kritis T_2

3.3.2 Bidang Phase

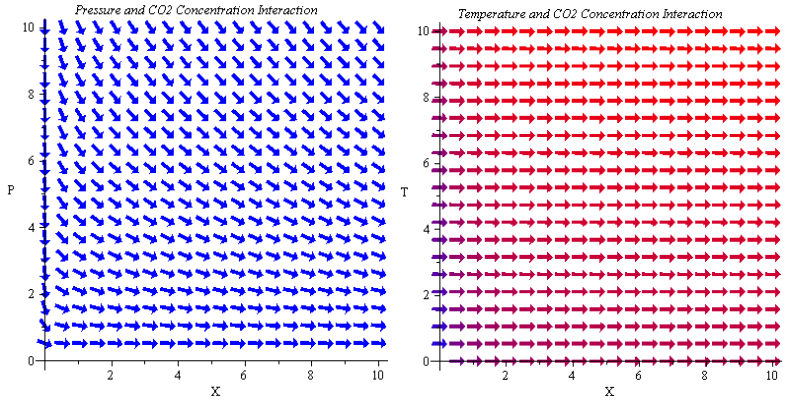
Kondisi dimana konsumsi gas CO_2 di atmosfer melebihi produksinya tentu akan membuat interaksi antara suhu, tekanan udara dan konsentrasi gas CO_2 di atmosfer menjadi tidak stabil. Sedangkan kondisi sebaliknya akan membuat interaksi antara suhu, tekanan udara dan konsentrasi gas CO_2 di atmosfer menjadi stabil. Keadaan ini dapat digambarkan melalui *direction field* dari sistem yang merepresentasikannya, baik di bidang (*T*, *X*) maupun di bidang (*P*, *X*).

Untuk suatu nilai $K, \alpha, C_p, \dot{q}$ yang membuat konsumsi gas CO_2 di atmosfer melebihi produksinya arah aliran di bidang (*T*, *X*) maupun di bidang (*P*, *X*) menuju titik kritisnya (lihat Gambar 2). Kondisi sebaliknya memperlihatkan arah aliran di bidang (*T*, *X*) maupun di bidang (*P*, *X*) menjauhi titik kritisnya (lihat Gambar 3).



(a) (b)

Gambar 2 *Directtion field* di bidang (a) (*P*,*X*) dan (b) (*T*,*X*) untuk konsumsi gas CO_2 di atmosfer yang melebihi produksinya



(a) (b)

Gambar 3 *Directtion field* di bidang (a) (*P*,*X*) dan (b) (*T*,*X*) untuk produksi gas CO_2 di atmosfer yang melebihi konsumsinya

4 KESIMPULAN DAN PROSPEK

Model konsumsi gas CO_2 sebagai fungsi dari laju produksi gas CO_2 di atmosfir *e* yang mempertahan keseimbangan interaksi unsur-unsur utama iklim dapat berupa fungsi linier maupun fungsi polinom yang rumit yang memuat suku-suku linier dan akar dari fungsi kuadrat dalam *b* dan *c*. Interpretasi terhadap model menunjukkan bahwa peningkatan produksi gas CO_2di atmosfir harus diiringi dengan konsumsi gas CO_2 di atmosfir yang jauh

melebihi produksinya. Hal ini menjadi syarat terciptanya interaksi suhu, tekanan udara dan konsentrasi gas CO_2 di atmosfir yang stabil.

Model ini dapat digunakan dalam rancangan pengendalian iklim berbasis ketersediaan area hijau. Area hijau semestinya didisain berdasarkan intensitas produksi CO_2 yang dirancang sedemikian hingga suhu dan tekanan udara di atmosfer terjaga dalam kondisi stabil. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan perluasan sistem yang merepresentasikan interaksi suhu, tekanan udara, konsentrasi gas CO_2 di atmosfir dan ketersediaan area hijau.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Jaya, A.I., Mencari Perluasan Model Dinamik Unsur-Unsur Utama Iklim, Universitas Tadulako, 2011.

[2] Jaya, A. I., *Peran Penting Laju Perubahan Kalor pada Model DinamikUnsur-Unsur Utama Iklim*, Tadulako University, 2010.

[3] Ratianingsih, Rina, *Dynamic Model of Pressure, Temperature and CO_2Concentration : Identification of Stability Parameters Potency*, The 6th SEAMS-GMU International Conference on Mathemathics and Its Applications, to be published, 2011.

[4] Sutimin, *Model Matematika Konsentrasi Gas Oksigen Terlarut pada Ekosistem Perairan Danau*, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.

PENYELESAIAN MODEL INFEKSI HIV PADA SEL DARAH PUTIH ($TCD4^+$) DENGAN MENGGUNAKAN METODE PERTURBASI HOMOTOPI

Wahfuanah[1], Jaharuddin[2], Ali Kusnanto[3]
[1,2,3] Departemen Matematika, FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680
ana_mayu@ymail.com

ABSTRAK

Acquired Immunodeficiency Syndrome (AIDS) adalah sindrom (kumpulan gejala) yang timbul akibat rusaknya sistem kekebalan tubuh manusia akibat terinfeksi virus HIV (*Human Immunodeficiency Virus*). AIDS bukan merupakan penyakit, melainkan kumpulan gejala penyakit yang disebabkan oleh berbagai macam mikro organisma yang menyerang tubuh akibat menurunnya sistem kekebalan tubuh penderita. Infeksi HIV menyebabkan deplesi imunitas sel terutama sel darah putih dan juga menyebabkan turunnya fungsi sel tersebut. Banyak kasus dimana orang positif mengidap HIV, tapi tidak menjadi sakit dalam waktu yang lama. Namun, HIV yang ada pada tubuh seseorang akan terus merusak sistem kekebalan tubuh. Akibatnya, virus dan bakteri yang biasanya tidak berbahaya menjadi sangat berbahaya karena rusaknya sistem kekebalan tubuh.Penyelesaian model infeksi virus HIV tersebut diperoleh dalam bentuk deret yang suku-sukunya diperoleh dari deformasi orde nol dan deformasi orde tinggi. Penyelesaian dengan metode ini digambarkan dengan bantuan *software Matematica*. Interpretasi hasil dilakukan berdasarkan orde deformasi deretyang digunakan. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukan bahwa metode perturbasi homotopi sangat efisien untuk menyelesaikan model infeksi HIV pada sel darah putih. Galat yang dihasilkan dari metode ini sangat kecil sehingga penyelesaian yang diperoleh dengan metode ini mendekati penyelesaian yang sesungguhnya.

Kata kunci: Metode Perturbasi Homotopi, leucocytes, HIV.

1 PENDAHULUAN

Acquired Immunodeficiency Syndrome (AIDS) adalah sindrom (kumpulan gejala) yang timbul akibat rusaknya sistem kekebalan tubuh manusia akibat terinfeksi virus HIV (*Human Immunodeficiency Virus*). AIDS bukan merupakan penyakit, melainkan kumpulan gejala penyakit yang disebabkan oleh berbagai macam mikro organisma yang menyerang tubuh akibat menurunnya sistem kekebalan tubuh penderita.

HIV merupakan sejenis *retrovirus* (virus yang dapat menggandakandirinya sendiri pada sel yang ditumpanginya) yang merusak sistem kekebalan tubuh terutama sel darah putih. Sel darah putih ini berfungsi untuk membantu tubuh melawan berbagai macam penyakit, kuman, bakteri atau virus yang masuk ke dalam tubuh. Saat ini, AIDS diperkirakan

menginfeksi 38,6 juta orang di seluruh dunia dan menyebabkan kematian lebih dari 25 juta orang sejak pertama kali ditemukan tanggal 5 Juni 1981 [1]. Target utama dari infeksi HIV adalah limposit T Helper (sel darah putih), sedangkan yang di kenal sebagai sel T $CD4^+$ adalah antibodi terhadap virus HIV yang dihasilkan oleh limposit T Helper.

Sel darah putih merupakan bagian penting dari sistem kekebalan tubuh. Jika jumlah sel darah putih menyusut, maka sistem tersebut menjadi terlalu lemah untuk melawan infeksi. Infeksi HIV menyebabkan deplesi imunitas sel terutama sel darah putih dan juga menyebabkan turunnya fungsi sel tersebut. Seseorang yang positif mengidap HIV, belum tentu mengidap AIDS. Banyak kasus dimana orang positif mengidap HIV, tapi tidak menjadi sakit dalam waktu yang lama. Namun, HIV yang ada pada tubuh seseorang akan terus merusak sistem kekebalan tubuh. Akibatnya, virus dan bakteri yang biasanya tidak berbahaya menjadi sangat berbahaya karena rusaknya sistem kekebalan tubuh.

Sejumlah model telah dikembangkan untuk mendeskripsikan tentang sistem kekebalan tubuh pasien penderita AIDS, Pada tulisan ini akan dibahas tiga komponen dasar dari pembentukan model yaitu sel darah putih sehat yang belum terinfeksi virus HIV, sel darah putih yang terinfeksi oleh virus HIV, dan virus HIV yang menyerang sel darah putih yang dapat melumpuhkan sistem kekebalan tubuh. Model infeksi virus HIV pada sel darah putih (T $CD4^+$) berupa suatu persamaan matematika yang umumnya berbentuk taklinear. Masalah taklinear ini biasanya sulit diselesaikan baik secara analitik maupun numerik, karena faktor tak linear yang sangat kuat. Terdapat beberapa metode untuk menyelesaikan masalah taklinear. Salah satu pendekatan analitik untuk menyelesaikan suatu masalah taklinear adalah metode homotopi [2].

Dalam penelitian ini akan diturunkan suatu hubungan antara jumlah sel darah putih sehat, jumlah sel darah putih yang terinfeksi virus HIV, dan jumlah virus yang menginfeksi sel darah putih. Selanjutnya akan diselesaikan model infeksi virus HIV pada sel darah putih (T $CD4^+$) yang telah diperoleh dengan menggunakan metode homotopi yang akan dibandingkan dengan hasil numeriknya.

2 METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, dibahas penurunan model matematika untuk menjelaskan infeksi virus HIV pada sel darah putih. Masuknya virus HIV ke sel darah putih menyebabkan

terbentuknya dua tipe sel darah putih, yaitu sel darah putih sehat dan sel darah putih terinfeksi virus HIV.

Untuk menentukan penyelesaian bagi model infeksi HIV pada sel darah putih (T CD4+), digunakan metode perturbasi homotopi. Dalam metode ini, terlebih dahulu dikonstruksi suatu persamaan homotopi berdasarkan bentuk dari model infeksi virus HIV tersebut. Kemudian dirumuskan bentuk dari deformasi orde tinggi berdasarkan pendekatan awal yang diberikan.

Penyelesaian model infeksi virus HIV tersebut diperoleh dalam bentuk deret yang suku-sukunya diperoleh dari deformasi orde nol dan deformasi orde tinggi. Pendekatan penyelesaiannya digambarkan dengan bantuan software Matematica. Interpretasi hasil yang diperoleh dilakukan berdasarkan orde deformasi deret yang digunakan. Kemudian memanfaatkan data dari solusi numeriknya untuk membandingkan hasil-hasil yang diperoleh.

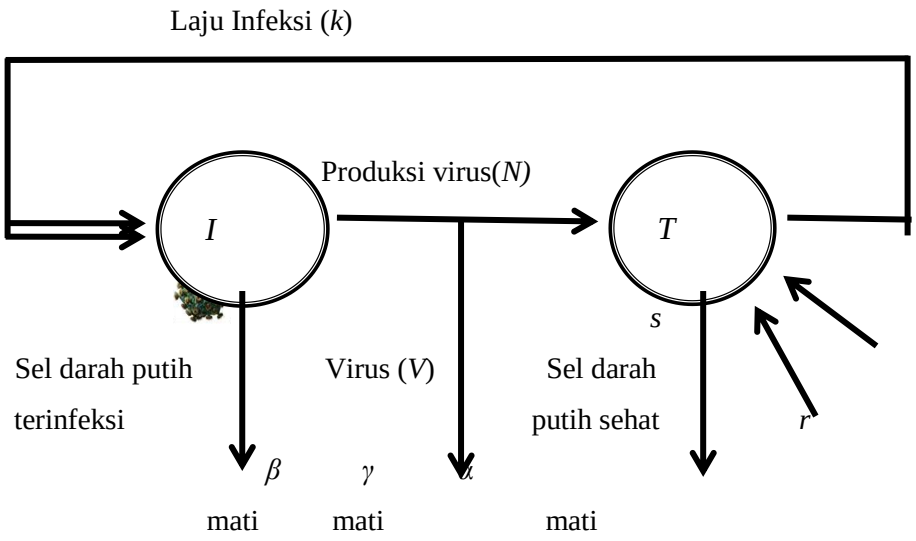
3 MODEL MATEMATIKA

Model yang akan dianalisis merupakan suatu model yang dibangun berdasarkan proses infeksi virus HIV pada sel T $CD4^+$ yang dihasilkan *Limposit T Helper*sel darah putih. Proses infeksi virus HIV pada sel darah putih sampai menghasilkan virus-virus baru terdiri dari beberapa fase, yaitu:

1. Fase adsorpsi, yaitu pelekatan virus pada membran plasma sel darah putih.
2. Fase penetrasi, yaitu pemasukan RNA virus pada sel darah putih.
3. Fase penggabungan, yaitu RNA virus bergabung dengan RNA sel darah putih.
4. Fase replikasi, yaitu pembentukan kapsoid / selubung protein virus. Enzim virus RT pada genom RNA virus membuat salinan DNA.
5. Fase perakitan, yaitu terjadi perakitan fage-fage baru (komponen virus baru) yang sudah sempurna. Salinan DNA bergabung dengan DNA inang membentuk RNA virus dalam jumlah banyak, lalu RNA virus akan membentuk protein virus. Dari protein virus dihasilkan *protease* yang membuat virus menjadi matang.
6. Fase lisis (pembebasan), pecahnya membran plasma sel darah putih dan keluar virus-virus baru yang siap menyerang sel darah putih lainnya [3].

Proses infeksi diawali masuknya virus ke dalam sel darah putih sehat. Di dalam sel, enzim virus yakni Reverse Transcriptase (RT) pada genom Ribonucleic Acid (RNA) virus,

membuat suatu salinan Deoxyribonucleic Acid (DNA). DNA virus akan bergabung dengan DNA inang membentuk RNA virus dalam jumlah banyak, lalu RNA virus akan membentuk protein virus. Dari protein virus dihasilkan protease virus untuk menghasilkan virus baru yang siap menyerang sel darah putih sehat lainnya. Dalam [4] ditunjukkan diagram penyebaran virus tersebut pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram penyebaran virus

Pada Gambar 1, *T* menyatakan sel darah putih sehat yang belum terinfeksi virus HIV dan *I* menyatakan sel darah putih yang terinfeksi oleh virus HIV. Sel *T* $CD4^+$ baru yang dihasilkan oleh limposit T helper sel darah putih diasumsikan diproduksi dengan laju *s* dan mati pada laju α, sedangkan sel darah putih yang terinfeksi akan mati secara alami dengan laju β. Virus baru yang dihasilkan oleh sel darah putih terinfeksi selama waktu hidupnya dengan laju *N* dan virus akan mati secara alami dengan laju γ. Laju poliferasi maksimum yang mengacu pada keberadaan batas maksimum dari populasi dinyatakan dengan *r* dan laju infeksi virus terhadap sel darah putih dinyatakan dengan *k*.

Laju kematian *T* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu laju sel *T* $CD4^+$ baru yang dihasilkan oleh limposit *T* helper sel darah putih dalam tubuh,sel *T* yang mempunyai laju kematian alami sebesar α sehingga tingkat kematian sel *T* pada suatu waktu adalah αT, proliferasi (perkembangbiakan) sel darah putih yang ada sehingga jumlah total sel darah putih dibatasi oleh kepadatan populasi sel *T* pada proliferasi yaitu $T_{max.}$.Pada kehadiran HIV, sel

darah putih menjadi terinfeksi. Virus ini yaitu V menginveksi sel T dengan laju k menyebabkan berkurangnya jumlah sel darah putih sehat dalam darah sebesar kVT.

Selanjutnya jumlah populasi sel darah putih terinfeksi pada waktu t dipengaruhi oleh tingkat infeksi virus dan kematian alami sel tersebut. Tingkat infeksi virus adalah kVT, dengan laju kematian sel darah putih terinfeksi adalah β, maka kematian sel darah putih terinfeksi pada suatu waktu adalah βI.

Sementara itu, penambahan jumlah virus di dalam tubuh ditandai dengan jumlah total virus yang diproduksi oleh sel darah putih terinfeksi selama waktu hidupnya, yaitu sebanyak N. Jadi tingkat produksi virus baru adalah $N\beta I$. Virus mempunyai laju kematian alami sebesar γ, menyebabkan jumlah virus pada waktu t berkurang sebesar γV

Konstruksi model matematika untuk model infeksi virus HIV pada sel $TCD4^+$ yang dihasilkan *Limposit T helper* sel darah putih menggunakan asumsi sel darah putih terinfeksi menghasilkan N virus selama waktu hidupnya dan semua parameter dan variabel yang digunakan taknegatif.

Berdasarkan uraian di atas, maka model matematika untuk menggambarkan proses infeksi HIV pada sel darah putih diberikan oleh sistem persamaan diferensial berikut:

$$\frac{dT}{dt} = s - \alpha T + rT\left(1 - \frac{T+1}{T_{max}}\right) - kVT$$
$$\frac{dI}{dt} = kVT - \beta I$$
$$\frac{dV}{dt} = N\beta I - \gamma V \qquad (1)$$

dengan:

T : Sel darah putih sehat

I : Sel darah putih terinfeksi

V : Virus yang menginfeksi sel darah putih

s : laju sel T $CD4^+$ baru yang di produksi oleh limposit T helper sel darah putih

r : Laju poliferasi

k : Laju infeksi

N : Virus baru yang dihasilkan oleh sel darah putih terinfeksi selama waktu hidupnya

α : Kematian alami sel darah putih sehat

β : Kematian alami sel darah putih terinfeksi

γ : Kematian alami virus yang menginfeksi sel darah putih

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Metode

Untuk mengilustrasikan metode homotopi (HPM), [5], tinjau masalah nilai batas berikut :

$$A[u(t)] = f(t) \tag{2}$$

dengan syarat batas

$$u(0) = c$$

Dengan $u = (u_{1,}u_2, u_3, \dots, u_n)$, $c = (c_{1,}c_2, c_3, \dots, c_n)$ dan A suatu operator turunan

Definisikan fungsi real *v(r, p)* : Ω x [0, 1] → ***R*** dan suatu fungsi *H* sebagai berikut:

$$H(v, p, h, T) \quad = (1-p)[M\big(v(r; p, h\,, T)\big) - M(u_0)] + \; p[-f(r)] \tag{3}$$

Selanjutnya, misalkan fungsi $v\ (r, p, h, T)$ merupakan penyelesaian dari persamaan berikut:

$$H(v\ (r, p, h, T)) = \ 0$$

sehingga persamaannya akan setara dengan:

$$(1-p)[M\big(v(r; p, h\,, T)\big) - M(u_0)] = \ -p[A(v(r; p, h, T)) - f(r)]$$

atau

$$(1-p)[M\big(v(r; p, h\,, T)\big) - M(u_0)] = phT[A(v(r; p, h, T)) - f(r)] \tag{4}$$

Berdasarkan persamaan (3), maka untuk $p = 0$ dan $p = 1$ masing-masing memberikan persamaan berikut:

$$H(v, 0, h, T) = M[(v(r; 0, h, T)) - u_0] \tag{5}$$

dan

$$H(v, 1, h, T) = A(v(r; 1, h, T)) - f(r). \tag{6}$$

Menurut persamaan (2), maka penyelesaian dari persamaan $H(v, 0, h, T) = 0$ dan $H(v, 1, h, B) = 0$masing-masing adalah:

$$u_0 = v(r; 0, h, T) \text{ dan } u = v(r; 1, h, T)$$

Kedua penyelesaian di atas bergantung pada parameter bantu h dan fungsi bantu $T(r)$, pemilihan parameter bantu *h*, fungsi bantu *T* (*r*), pendekatan awal u_0, dan operator linear *M* perlu memperhatikan validitas dari metode homotopi. Dengan pemilihan ini terjamin adanya fungsi $v(r; p, h, T)$ dan turunan-turunannya terhadap p untuk setiap $p \in [0,1]$. Turunan ke m dari fungsi $v(r; p, h, T)$ terhadap p yang dihitung di $p = 0$ adalah:

$$u_m = \frac{1}{m!}\frac{d^m\, v\,(r; p,h,T)}{d\, p^m}\Big|_{p=0}$$

Deret Taylor dari fungsi $v(r,p)$ terhadap p adalah

$$(r,p) = v(r,0,h,T) + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m!} \frac{d^m v(r;p,h,T)}{dp^m}|_{p=0} p^m$$

atau

$$v(r,p,h,T) = u_0 + \sum_{m=1}^{\infty} u_m\, p^m \tag{7}$$

Selanjutnya h, T, u_0 dan M dipilih sedemikian sehingga digunakan untuk menyesuaikan kekonvergenan deret (4.6) di $p = 1$ terjamin. Jadi untuk $p = 1$ dari persamaan (7) diperoleh

$$v(r,1,h,T) = u_0 + \sum_{m=1}^{\infty} u_m$$

Karena $u = v(r,1,h,T)$, maka diperoleh

$$u = u_0 + \sum_{m=1}^{\infty} u_m$$

Hasil ini menunjukan hubungan antara penyelesaian eksak dari persamaan (2) dengan pendekatan awal u_0 dan u_m $, m = 1,2,3, \ldots$ yang akan ditentukan. Persamaan untuk menentukan u_m $, m = 1,2,3, \ldots$ dilakukan dengan metode perturbasi, dimana persamaan (7) disubstitusikan kedalam persamaan (4) untuk mendapatkan suatu persamaan untuk u_m. Persamaan umum dari u_m diperoleh berdasarkan koefisien perpangkatan dari p.

4.2 Aplikasi Metode

Pada bagian ini akan dibahas penggunaan metode perturbasi homotopi untuk menyelesaikan model inveksi HIV pada sel darah putih (T CD4$^+$) yang diberikan dalam persamaan (1) misal v_1, v_2, dan v_3 masing-masing menyatakan sel darah putih sehat, sel darah putih terinfeksi dan virus yang menginfeksi sel darah putih, maka persamaan (1) menjadi:

$$\frac{dv_1}{dt} = s - \alpha v_1 + r v_1 \left(1 - \frac{v_1 + 1}{T_{max}}\right) - k v_3 v_1 \frac{dv_2}{\partial t} = k v_3 v_1 - \beta v_2$$

$$\frac{dv_3}{dt} = N\beta v_2 - \gamma v_3 \tag{8}$$

Syarat awal dimisalkan sebagai berikut:

$$T(0) = r_1, I(0) = r_2 \text{ dan } V(0) = r_3.$$

Berdasarkan persamaan dari persamaan (4) dan persamaan (8) memberikan

$$(1-p)\left(\frac{\partial v_1}{\partial t}-\frac{\partial x_0}{\partial t}\right)+p\left(\frac{\partial v_1}{\partial t}-s+\alpha\, v_1-r\, v_1\left(1-\frac{v_1-v_2}{T_{max}}\right)+kv_1v_3\right)=0$$

$$(1-p)\left(\frac{\partial v_2}{\partial t}-\frac{\partial y_0}{\partial t}\right)+p\left(\frac{\partial v_2}{\partial t}-kv_1v_3-\beta v_2\right)=0$$

$$(1-p)\left(\frac{\partial v_3}{\partial t}-\frac{\partial z_0}{\partial t}\right)+p\left(\frac{\partial v_3}{\partial t}-N\beta v_2+\gamma\, v_3\right)=0 \qquad (9)$$

Sebagai pendekatan awal dimisalkan $x_0(t)=r_1$, $y_0(t)=r_2$ dan $z_0(t)=r_3$.

Dalam metode homotopi yang dibahas disini, penyelesaian persamaan (1) dimisalkan berbentuk:

$$v_1=v_{1,0}+pv_{1,1}+p^2v_{1,2}+p^3v_{1,3}+\ \ldots$$

$$v_2=v_{2,0}+pv_{2,1}+p^2v_{2,2}+p^3v_{2,3}+\ \ldots$$

$$v_3=v_{3,0}+pv_{3,1}+p^2v_{3,2}+p^3v_{3,3}+\ \ldots \qquad (10)$$

Jika persamaan (10) disubstitusikan ke dalam persamaan (9), maka diperoleh koefisien p^0 berikut:

$$\frac{\partial v_{1,0}}{\partial t}-\frac{\partial x_0}{\partial t}=0$$

dengan penyelesaian dalam bentuk

$$v_{1,0}=r_1$$

Dengan cara yang sama didapat

$$v_{2,0}=r_2 \text{ dan } v_{3,0}=r_3. \qquad (11)$$

Koefisien p^1 memberikan persamaan:

$$\frac{\partial v_{1,1}}{\partial t}-s+(\alpha-r)r_1+\frac{r}{T_{max}}r_1^2+\frac{r}{T_{max}}r_1\,r_2+k\,r_1\,r_3=0$$

$$\frac{\partial v_{2,1}}{\partial t}-k\,r_1\,r_3+\beta r_2=0$$

$$\frac{\partial v_{3,1}}{\partial t}-N\beta r_2+\gamma\,r_3=0. \qquad (12)$$

Penyelesaian persamaan (12) diperoleh dengan mengintegralkan persamaan tersebut terhadap t, sehingga diperoleh:

$$v_{1,1} = t(s - (a - r)r_1 - kr_1r_3 - \frac{rr_1^2}{T_{\max}} - \frac{rr_1r_2}{T_{\max}})$$

$$v_{2,1} = -\beta r_2 + kr_1r_3$$

$$v_{3,1} = t(\beta \mathrm{N} r_2 - \gamma r_3). \qquad (13)$$

Dengan demikian penyelesaian T , I dan Vdengan menggunakan metode homotopi berbentuk:

$$T = v_{1,0} + v_{1,1} + v_{1,2} + v_{1,3} + \ldots$$

$$I = v_{2,0} + v_{2,1} + v_{2,2} + v_{2,3} + \ldots$$

$$V = v_{3,0} + v_{3,1} + v_{3,2} + v_{3,3} + \ldots \qquad (14)$$

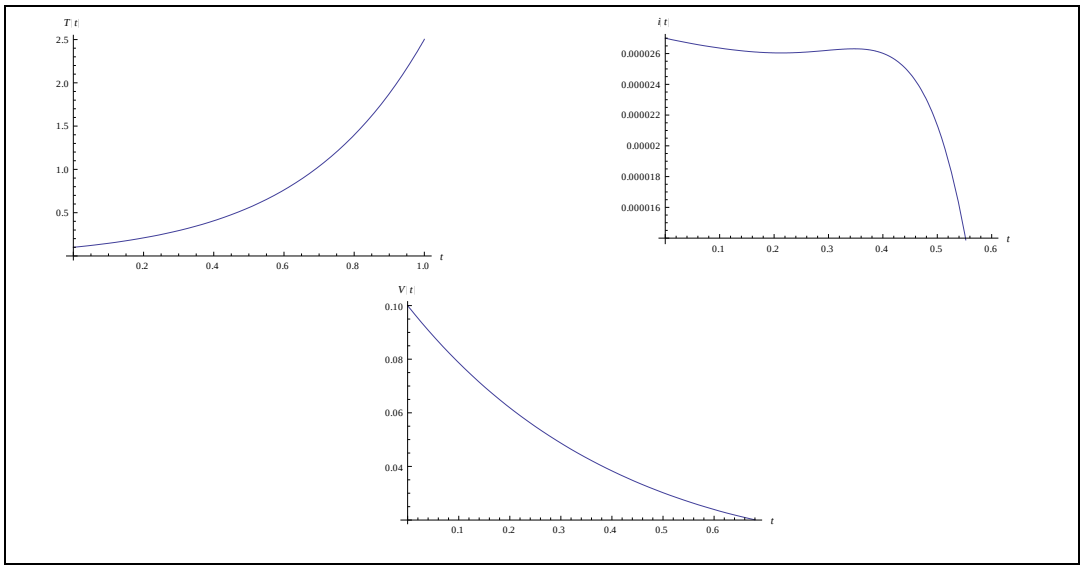
Untuk menggambarkan hubungan T , I dan Vyang dinyatakan oleh persamaan (14), maka berikut ini akan dikaji 3 kasus:

Kasus 1. Infeksi pada Orang Dewasa

Dalam hal ini nilai parameter yang terlibat sebagai berikut:

s	= 0.1 mm per hari	r	= 3 per hari
α	= 0.02 per hari	β	= 0.3 per hari
γ	= 2.4 per hari	k	= 0.0027 mm^3 per hari
T_{max}	= 1500 mm^3	N	= 10 per hari

Grafik penyelesaian bagi fungsi$T$, I dan Vhingga orde 6 diberikan dalam Gambar 2.



Gambar 2 Grafik penyelesaian untuk T , I dan V untuk orang dewasa.

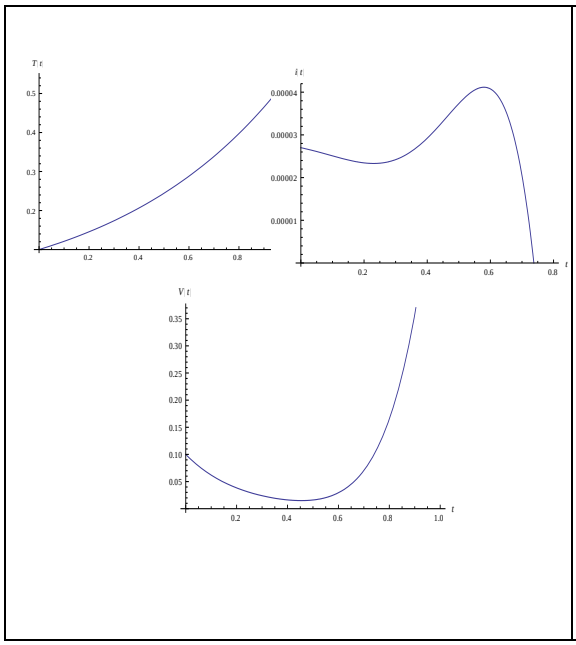
Dari Gambar 2 terlihat bahwa jumlah populasi sel T orde 6 meningkat sebesar 2.4 pada hari pertama. Hal ini disebabkan karena sel $T\ CD4^{+}$ terus di produksi oleh limposit T helper dan proses poliferasi sel darah putih, sedangkan sel I menurun dan akan mengalami kepunahan setelah kira-kira 14 jam 24 menit. Penurunan ini terjadi karena kondisi sel darah putih terinveksi virus HIV tidak dapat bertahan di dalam populasi. Pada gambar 2, Jumlah virus juga menurun dan mengalami kepunahan setelah kira-kira 16 jam 12 menit. Penurunan ini terjadi karena pada kondisi ini virus tidak dapat bertahan di dalam populasi dan akhirnya virus akan punah.

Kasus 2. Infeksipada Orang Tua (Manula), ketika

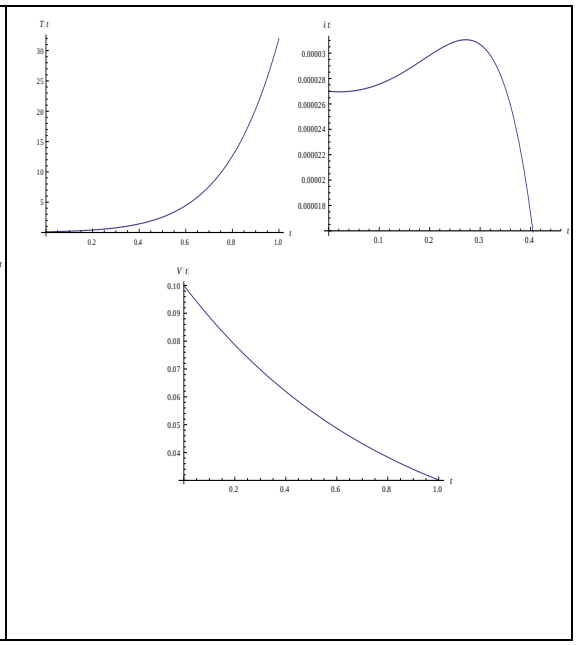
s	= 0.05 mm per hari	r	= 1.5 per hari
α	= 0.04 per hari	β	= 0.6 per hari
γ	= 4.8 per hari	k	= 0.0027 mm^3 per hari
T_{max}	= 1500 mm^3	N	= 10 per hari

Kasus 3. InfeksipadaAnak-anak,ketika

s	= 0.1 mm per hari	r	= 6 per hari
α	= 0.01 per hari	β	= 0.15 per hari
γ	= 1.2 per hari	k	= 0.0027 mm^3 per hari
T_{max}	= 1500 mm^3	N	= 10 per hari



Gambar 1 Kasus pada Orang Tua



Gambar 5 Kasus pada Anak-anak

5 KESIMPULAN

Metode perturbasi homotopi sangat efisien untuk menyelesaikan model infeksi HIV pada sel darah putih yang bentuknya taklinear khususnya pada kasus orang dewasa. Galat yang dihasilkan dari metode perturbasi homotopi pada kasus ini sangat kecil sehingga penyelesaian yang diperoleh dengan metode ini mendekati penyelesaian yang sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Weiss RA.1993. How Does HIV cause AIDS? Science.

[2] He JH.2000. A Coupling Method of A Homotopy Technique and A Perturbation Technique For Non Linear Problem. International Journal of Non Linear Mechanics.

[3] Institut teknologi telkom.2010. Klasifikasi Virus.http://www.ittelkom.ac.id.

[4] Nelson PW, Perelson AS. 2002. Mathematical Analysis of Delay Differential Equation Models of HIV-I Invection. Mathematical Bioscience.

[5] He JH. 2007. Homotopy Perturbation Method For Solving A Model For HIV Infection of $CD4^+$ T Cells. Istanbul Ticaret Universitesi Fen Bilimleri Dergisi.

Fisika

KARAKTERISASI SENSOR KRISTAL FOTONIK SATU DIMENSI UNTUK PENGUKURAN GAS NITROGEN DIOKSIDA (NO_2)

D. R. Budiarti[1], M. Rahmat, Irmansyah

[1] Departemen Fisika, FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
dita.fatimatuzzahro@ymail.com

ABSTRAK

Pengukuran konsentrasi gas pencemar masih terus dikembangkan, salah satunya adalah pengukuran gas pencemar NO_2 berbasis optik menggunakan kristal fotonik satu dimensi. Penelitian ini memanfaatkan metode Griess Saltzman sebagai penjerap NO_2 sehingga berubah menjadi larutan *azo dye* berwarna merah muda. Panjang gelombang 550 nm merupakan hasil karakterisasi larutan *azo dye* yang digunakan untuk pabrikasi kristal fotonik. Kristal fotonik dapat mengukur konsentrasi gas lebih sensitif dan *real-time* karena dapat membaca setiap perubahan konsentrasi dalam larutan. Dalam presentasi ini juga dilaporkan bahwa hasil perbandingan antara pengukuran konvensional dengan pengukuran menggunakan kristal fotonik didapat dari hasil uji tegangan dan uji transmisi. Konsentrasi gas yang terukur sebagai hasil pengenceran sampel masing-masing pengujian, dikalibrasi dan diterjemahkan sesuai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan *Air Quality Index* (AQI). Berdasarkan hasil pengamatan, koefisien determinasi dari perbandingan massa NO_2 hasil perhitungan dan hasil pengukuran metode konvensional pada uji tegangan mencapai 99.9 %, sedangkan koefisien determinasi perbandingan massa NO_2 hasil perhitungan dan hasil pengukuran konvensional pada uji transmisi mencapai 99.5 %.

Kata Kunci : kristal fotonik, kalibrasi konsentrasi NO_2, *real time*

1 PENDAHULUAN

Kualitas udara telah mengalami penurunan disebabkan oleh pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri. Pencemaran udara bisa juga diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing di udara yang menyebabkan perubahan komposisi udara dari keadaan normal. Udara dikatakan telah tercemar apabila dalam udara tersebut terdapat zat asing dalam jumlah tertentu dalam waktu yang cukup lama [1].

Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 mengenai Pengendalian Pencemaran Udara, yang dimaksud dengan pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi dan atau komponen lain ke dalam udara *ambient* oleh kegiatan

manusia sehingga mutu udara ambient turun sampai ke tingkat tertentu yang mengakibatkan udara *ambient* tidak memenuhi fungsinya [2]. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat yang bisa mengukur kadar gas polutan di udara, agar semua pihak mengetahui kadar polusi setiap gas yang ada dan dapat dicegah sejak dini akibat dari masalah pencemaran gas polutan tersebut.

Gas nitrogen oksida (NOx) ada dua macam, yakni gas nitrogen monoksida (NO) dan gas nitrogen dioksida (NO_2). Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Gas NO yang mencemari secara visual sulit diamati karena gas tersebut tidak berwarna dan tidak berbau. Sedangkan gas NO_2 bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat menyengat dan warnanya coklat kemerahan. Di udara, NO dioksidasi menjadi NO_2 dengan sangat cepat yang kemudian teroksidasi secara fotokimia menjadi nitrat. NO_2 akan berpengaruh terhadap tanam-tanaman dan sekaligus menghambat pertumbuhan. Pencemaran udara oleh gas NO_2 juga dapat menyebabkan iritasi pada mata. Karakteristik polutan yang dirancang pada program pemantauan NO_2, adalah [3]:

- Konsentrasi yang lebih besar ditentukan oleh emisi lalu lintas jalan
- Adanya ruang yang homogen, polutan sekunder.
- Perbandingan dari puncak untuk mengartikan konsentrasi secara statistika yang kuat dan berguna.

Udara dengan konsentrasi gas NO yang tinggi dapat mengakibatkan gangguan pada sistem saraf yang mengakibatkan kejang-kejang. Bila keracunan ini terus berlanjut akan menyebabkan kelumpuhan. Sifat racun (toksisitas) NO_2 empat kali lebih kuat daripada NO sehingga lebih berbahaya. Pada konsentrasi tinggi, paparan NO_2 dapat mengakibatkan kerusakan paru-paru yang berat dan cepat, bisa membengkak dan menyebabkan kematian. Sebagai agen pengoksidasi, NO_2 bisa merusak membran sel dan protein, menyebabkan peradangan yang akut. Penyebaran dalam waktu singkat berpengaruh terhadap peningkatan resiko infeksi saluran pernafasan [3].

Pengukuran parameter kualitas udara harus berdasarkan pada Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang merupakan angka yang dapat mewakili kualitas udara lingkungan. Indeks ini dibuat berdasarkan dampak yang akan terjadi pada manusia dan makhluk hidup lainnya. Berdasarkan keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak

Lingkungan No. 107 tahun 1997 tanggal 21 November 1997, bahwa angka dan kategori ISPU yang telah ditetapkan adalah sebagai berikut [4]:

Tabel 1 indeks, kategori ISPU, dan dampak NO_2 menurut indeksnya terhadap lingkungan [3].

Indeks	Kategori	Pengaruh NO_2 terhadap lingkungan
1 – 50	Baik	Sedikit Berbau
51 – 100	Sedang	Berbau
101 – 199	Tidak Sehat	Bau dan kehilangan warna. Peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma
200 – 299	Sangat Tidak Sehat	Meningkatnya sensitivitas pasien yang berpenyakit asma dan bronhitis
300 – lebih	Berbahaya	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar

Menurut *Environmental Protection Agency* (EPA), AQI merupakan indeks yang digunakan untuk melaporkan kualitas udara harian yang difokuskan pada pengaruh polusi terhadapkesehatan yang akan dialami beberapa jam atau beberapa hari setelah menghirup udara berpolusi.

Tabel 2 Efek terhadap kesehatan pada setiap level Indeks Kualitas Udara (AQI) yang diakibatkan oleh nitrogen dioksida [5]

Category	***AQI***	***Pollutant Concentration Breakpoints (ppb)***	***Nitroge Dioxide (NO_2)***
Very Good	0 – 15	0 – 50	*No health effect are expected in healthy people*
Good	16 – 31	51 – 110	*Slight odour*
Moderate	32 – 49	111 – 200*	*Odour*
Poor	50 – 99	201 – 524	*Air smells and looks brown. Some increase in bronchial reactivity in asthmatics*
Very Poor	100 *or over*	525 *or over*	*Increase sensitivity for asthmatics and people with bronchitis*

**Ontario 1-hour AAQC for NO_2 = 200 ppb*

Kristal fotonik satu dimensi merupakan sistem optik periodik yang tersusun atas unit-unit sel identik. Masing-masing unit sel tersebut terdiri dari dua atau lebih lapisan material

dielektrik dengan indeks bias rendah dan tinggi, dan dengan ketebalan berorde panjang gelombang elektromagnetik (GEM) operasional. Interferensi antara gelombang transmisi dengan refleksi dapat mengakibatkan pemblokiran perambatan GEM pada rentang panjang gelombang tertentu. Jika struktur kristal fotonik ini dirancang memiliki satu atau lebih unit sel cacat, yaitu lapisan yang memiliki ketebalan optik berbeda dengan ketebalan lapisan pada unit sel reguler, maka akan muncul fenomena *photonic pass band* (PPB) yang menunjukkan semacam "kebocoran" GEM dalam rentang PBG. Karakteristik PPB tersebut sangat sensitif terhadap perubahan indeks bias material pada lapisan cacat. Fenomena ini dimanfaatkan untuk pembuatan sensor optik berbasis kristal fotonik, dimana material sampel yang akan dideteksi diperlakukan sebagai lapisan cacat [6].

Prinsip kerja sensor kristal fotonik satu dimensi adalah merambatkan gelombang EM di dalam kristal fotonik yang dsisipi material sampel, kemudian diterima oleh fotodetektor yang mengubahnya jadi tegangan listrik. Agar dapat terbaca, rangkaian tersebut diperkuat oleh amplifier. Pada prinsipnya, tegangan yang dihasilkan dapat dikonversi dan dikalibrasi ke satuan parameter yang dibutuhkan, misal gram/liter, molar, %volume, atau %bobot. Keunggulan sensor ini, memiliki sensitivitas tinggi, mudah digunakan dan praktis, hasilnya *real time* dan *in-situ*, selain itu dapat diintegralkan ke sistem secara otomatis [6].

2 METODOLOGI

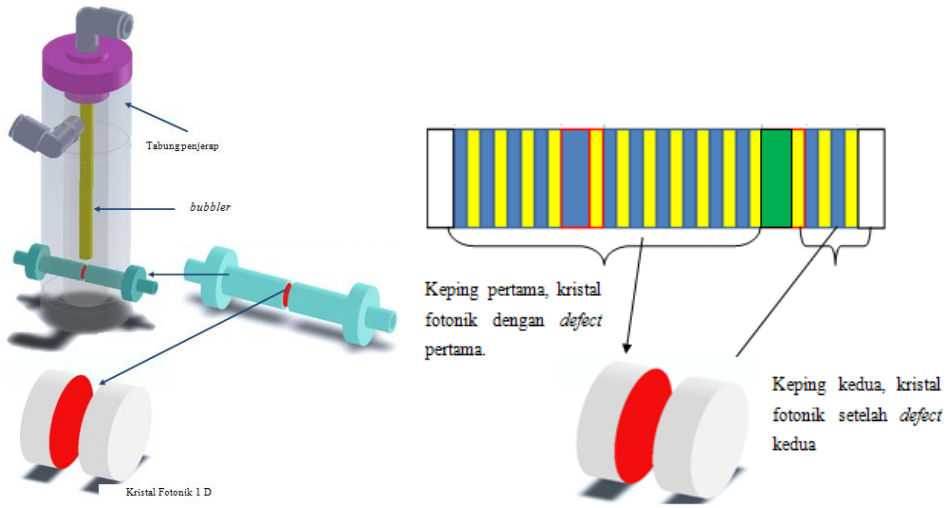
Sebelum dilakukan karakterisasi sensor kristal fotonik, terlebih dahulu dilakukan karakterisasi gas NO_2 secara spektroskopi menggunakan metode Griess Saltzman [7]. Metode ini menggunakan larutan penjerap Griess Saltzman yang hanya bereaksi dengan NO_2 saja. Caranya dengan menghisap gas emisi kendaraan bermotor ke dalam tabung penjerap yang sudah diisi larutan penjerap. Penjerap Griess Saltzman yang bereaksi dengan NO_2 akan berubah warna menjadi merah muda. Tujuan karakterisasi gas NO_2 ini adalah untuk mendapatkan panjang gelombang operasi yang sangat menentukan dalam fabrikasi jenis fotonik kristal, terutama dalam jumlah lapisan dielektrik dan indeks biasnya. Daya hisap yang disarankan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah 0.4 lpm dan dilakukan selama satu jam. Pengukuran menggunakan spektrofotometer, membutuhkan seperangkat alat spektrofotometer, USB *Ocean Optic* – 4000, sumber cahaya UV-VIS, software *Spectrasuite*

dan seperangkat alat komputer. Data panjang gelombang operasi yang didapat digunakan untuk fabrikasi kristal fotonik yang sesuai.

Karakterisasi sensor dilakukan dengan menggunakan metode Spektrofotometer untuk pengujian tegangan dan pengujian transmisi. Pengujian menggunakan alat seperti pada Gambar 1 dan dilakukan bersamaan dengan alat PPLH yang sudah sesuai dengan standar SNI.

Penjerap Griess Saltzman dimasukkan ke dalam tabung penjerap yang telah dipasangi kristal fotonik satu dimensi di bagian bawah tabung. Jalur aliran gas di bagian leher tabung terhubung ke pompa vakum sedangkan jalur gas di kepala tabung terhubung ke sumber NO_2, dalam hal ini knalpot motor.

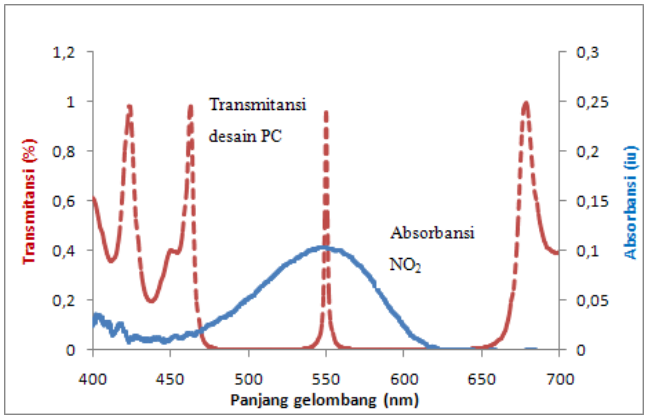
Dengan daya hisap 0.4 lpm selama satu jam, sampel akan berubah warna menjadi merah muda. Sampel kemudian dibagi menjadi dua bagian dengan volume yang sama (selanjutnya disebut sampel A dan B). Sampel B diencerkan dengan cara menambahkan 1 ml penjerap Griess Saltzman di setiap kali pengenceran dan dicatat perubahan tegangannya, sehingga menghasilkan kurva pengenceran. Hasil pengenceran dibandingkan dengan data pengenceran sampel A yang dilakukan oleh PPLH. Hal yang sama dilakukan juga pada uji transmisi dengan variabel intensitas. Nilai konsentrasi yang didapat kemudian dikalibrasi sesuai indeks ISPU atau AQI.



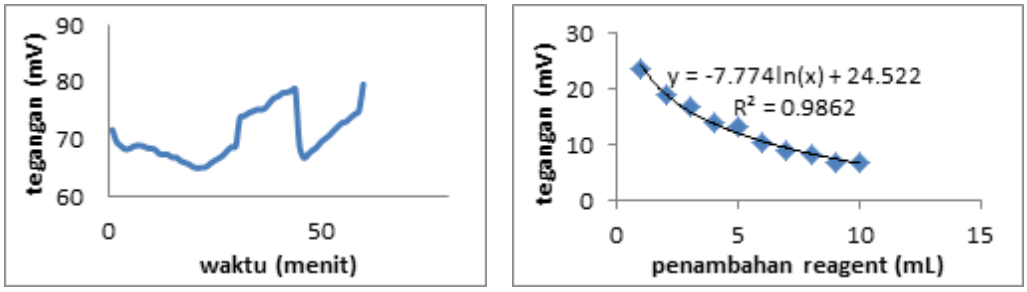
Gambar 1 (Kiri) Bagian-bagian tabung penjerap dan (kanan) ilustrasi kristalfotonik satu dimensi dengan dua *defect*

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

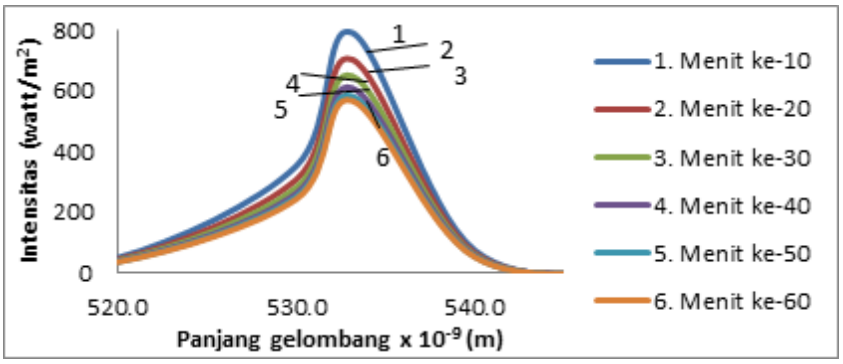
Pengambilan sampel sebelum dipasangi kristal fotonik menghasilkan data panjang gelombang operasi yang digunakan untuk fabrikasi kristal fotonik yang sesuai. Nilai panjang gelombang yang didapatkan berada pada rentang absorbansi λ = 500 nm s.d. 600 nm dengan puncak tertinggi berada di 550 nm, sehingga pada fabrikasi kristal fotonik, harus diperhitungkan agar lokasi *photonic pass band* (PPB) berada pada λ = 550 nm, atau minimal masih berada di rentang absorbansi. Hal ini dilakukan agar sampel yang memiliki panjang gelombang yang sama saja yang terukur. Dengan kata lain, kristal fotonik memiliki selektifitas yang tinggi. Hasil desain kristal fotonik ditunjukkan oleh Gambar 2.



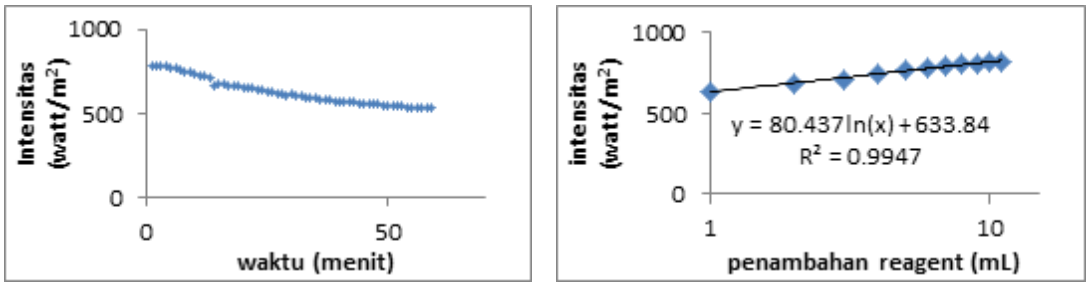
Gambar 2 Panjang gelombang operasi sensor yang sesuai dengan karakteristik gas NO_2 menjadi dasar pembuatan desain kristal fotonik, sehingga daerah PPB yang didesain harus berada di panjang gelombang 550 nm.



Gambar 3 (Kiri) perubahan nilai tegangan selama pengukuran dan (kanan) hasil pengenceran secara manual pada uji tegangan. Perubahan nilai tegangan yang linear, akibat dari semakin kecilnya nilai tegangan setiap ditampahkan 1 ml penjerap Griess Saltzman.



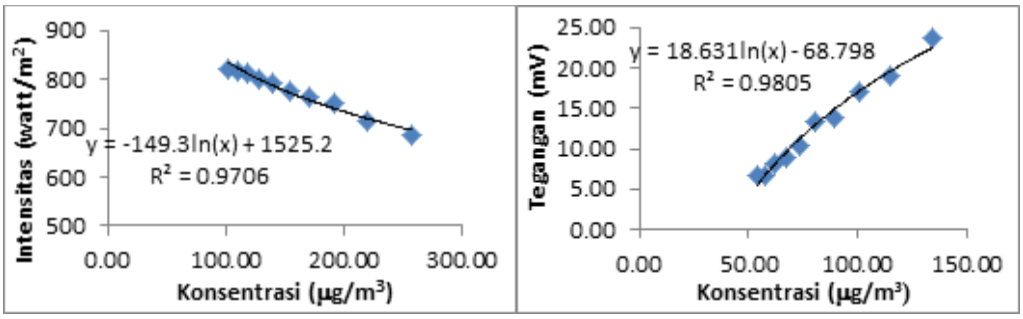
Gambar 4 Kurva representatif perubahan transmisi terhadap waktu selama satu jam di semua panjang gelombang



Gambar 5 (Kiri) perubahan puncak transmisi pada panjang gelombang dengan intensitas tertinggi 533.16 setiap menit pengukuran selama satu jam dan (kanan) hasil pengenceran secara manual pada uji transmisi. Semakin diencerkan, konsentrasi NO_2 dalam larutan semakin rendah sehingga intensitas cahaya yang dilewatkan semakin tinggi.

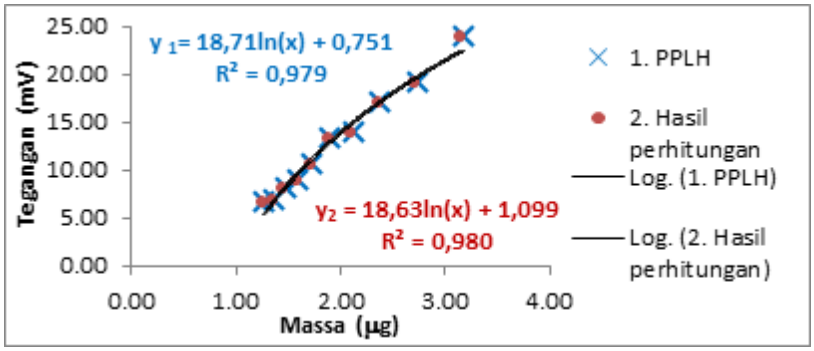
Hasil Kalibrasi

Nilai konsentrasi yang telah dihitung di setiap pengenceran, kemudian dibadningkan terhadap perubahan tegangan yang nilainya didapat pada saat pengenceran uji tegangan. Hal yang sama dilakukan juga pada kalibrasi hasil uji transmisi.

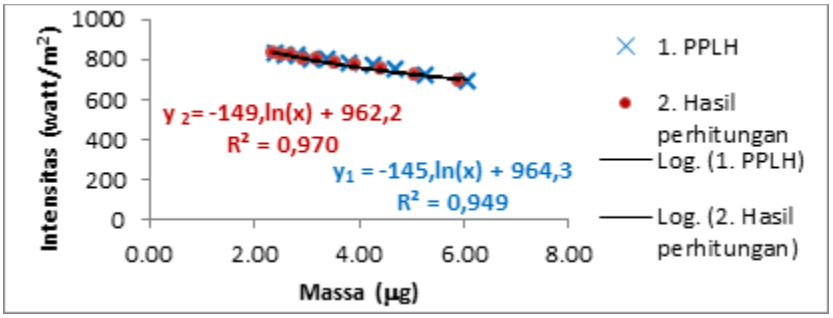


Gambar 6 Nilai konsentrasi yang telah dihitung berdasarkan pengukuran SNI dipetakan terhadap : (Kiri) nilai pengukuran transmisi, menghasilkan koefisien determinasi sebesar 97.0 % dan (Kanan) terhadap hasil pengukuran tegangan, menghasilkan koefisien determinasi sebesar 98.0 %.

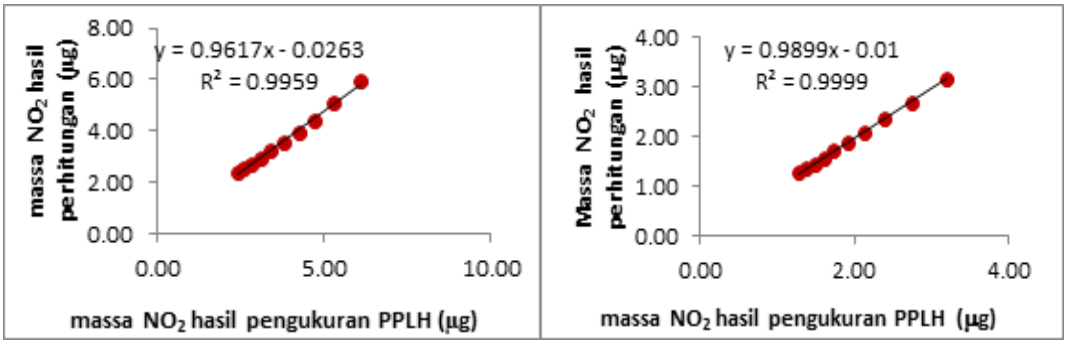
Hasil pengujian juga dibandingkan terhadap massa akumulatif NO_2 yang terjerap. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan oleh gambar, massa yang didapat oleh hasil perhitungan mendekati setiap plot massa hasil pengukuran PPLH. Perbandingan nilai massa di setiap titik pengenceran untuk sampel hasil uji tegangan ditunjukkan oleh Gambar 7, sedangkan untuk sampel hasil uji transmisi ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 7 Perbandingan hasil pengukuran antara pengukuran konvensional dan pengukuran berbasis kristal fotonik untuk uji tegangan. Semakin besar massa dari jumlah partikel gas NO_2 tegangan yang dihasilkan semakin tinggi.



Gambar 8 Perbandingan hasil pengukuran antara pengukuran konvensional dan pengukuran berbasis kristal fotonik untuk uji transmisi. Semakin besar massa dari jumlah partikel gas NO_2 tegangan intensitas cahaya yang dilewatkan semakin rendah.



Gambar 9 : *Plotting* data PPLH dan hasil pengukuran. (Kiri) data uji transmisi dan (kanan) data uji tegangan. Hasil pengujian dengan koefisien determinasi > 99 % menunjukkan penggunaan kristal fotonik satu dimensi bisa digunakan sebagai rujukan baru pengukuran gas pencemar NO_2.

Gambar 9 menunjukkan hasil kalibrasi data berdasarkan hasil perhitungan yang telah divalidasi oleh data hasil pengukuran PPLH IPB. Menurut SNI, jika hasil *plotting* antara data penelitian dengan hasil validasi lebih besar dari 0.99, maka data tersebut bisa digunakan sebagai data rujukan baru.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Kristal fotonik sebagai sensor terhadap gas NO_2 ketika dilewatkan gelombang elektromagnetik memberikan respon yang linear terhadap perubahan intensitas cahaya yang dilewatkan namun memberikan hasil yang fluktuatif terhadap uji tegangan dalam kondisi *real time*. Dalam kondisi pengenceran baik uji tegangan maupun uji transmisi secara *trendline* memberikan respon yang linear terhadap perubahan konsentrasi yang terjadi.

Konsentrasi pada uji tegangan berbanding lurus dengan tegangan karena semakin besar konsentrasi NO_2 dalam reagent, nilai tegangan semakin tinggi. Sedangkan pada uji tansmitansi, konsentrasi berbanding terbalik dengan intensitas cahaya. Semakin besar konsentrasi NO_2 dalam reagent, intensitas cahaya yang dilewatkan semakin kecil.

Pengukuran gas NO_2 dengan metode spektroskopi menggunakan kristal fotonik satu dimensi dapat digunakan sebagai rujukan baru pengukuran gas NO_2. Ini terbukti dari perbandingan antara data hasil pengujian dan PPLH untuk uji transmisi dan uji tegangan berturut-turut adalah 99.5% dan 99.9%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Kemendiknas sebagai penyalur Beasiswa Unggulan. Kami juga mengucapkan terima kasih atas dukungan dari seluruh staf Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Prabu. 2008. Jenis-jenis pencemar udara. http://putraprabu.wordpress.com/2008/12/12/pencemaran-udara/ [15 Oktober 2010]

[2] Ministry of the Environtment, Ontario. 2010. Nitrogen Dioxide (NO_2). http://www.airqualityontario.com/science/pollutants/nitrogen.php [23 Agustus 2011]

[3] Rahayu, Suparni Setyowati. 2009. Sifat dan Karakterisasi NO_2. http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia-industri/limbah-industri/karakteristik-limbah-gas-dan-partikel/ [5 November 2010]

[4] Badan Standardisasi Nasional. (2005). Standar Nasional Indonesia, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

[5] United States - Environtmental Protection Agency. 2003. Air Quality Index, A Guide to Air Quality and Your Health. http://www.njaqinov.net/App_AQI.en-US.pdf [18 Agustus 2011]

[6] Alatas H, Irmansyah, Rahmat M . (2009). Desain Dan Fabrikasi Sensor Konsentrasi Gula Pada Tebu Berbasis Kristal Fotonik; Dari Teori Hingga Produk. Bogor : Institut Pertanian Bogor.

[7] Badan Standardisasi Nasional. (2005). Standar Nasional Indonesia, Udara Ambien – Bagian 2 : Cara uji kadar nitrogen dioksida (NO_2) dengan metoda Griess Saltzman menggunakan Spektrofotometer.

PENERAPAN FOTODIODA FILM TIPIS $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ (BST) SEBAGAI DETEKTOR GARIS PADA ROBOT *LINE FOLLOWER* BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA8535

Irzaman[1], A. Arif[1], A. Kurniawan[1], M. N. Hilaluddin[1], J. Iskandar[1], D. Yosman[1].
[1] Departemen Fisika FMIPA IPB
Gedung Wing S No. 3, Dramaga Bogor 16680
Email : Irzaman@yahoo.com, Ade_Kurniawan_VCK44@yahoo.com.

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan robot *line follower* dengan film tipis $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO3$ (BST) sebagai detektor garisnya. Film tipis dapat menghasilkan arus listrik jika dikenai cahaya yang mengakibatkan konduktivitas film tipis berubah. Konduktivitas film tipis akan meningkat, dengan meningkatnya intensitas cahaya yang masuk. Sebagai pengendali robot, digunakan mikrokontroler Atmega8535. Masukan pada mikrokontroler adalah perubahan tegangan jatuh pada film tipis akibat perubahan intensitas cahaya. Perubahan tegangan jatuh sangat kecil sehingga perlu diperkuat oleh rangkaian penguat operasional. Mikrokontroler memberikan instruksi kepada kedua motor sebagai respon terhadap masukan yang diberikan. Sebelum diterapkan sebagai detektor garis, film tipis diuji dengan variasi warna sumber cahaya dan bidang pantul. Film tipis memiliki daerah serapan pada panjang gelombang cahaya tampak sehingga pada penelitian ini digunakan lampu LED sebagai sumber cahaya. Robot pada penelitian ini menggunakan film tipis yang diannealing selama 29 jam karena memiliki sensitivitas tertinggi. Sebagai sumber cahaya digunakan LED berwarna biru karena memiliki kontras yang tinggi untuk membedakan bidang berwarna gelap dan terang.

Kata Kunci: film BST, fotodioda, detetor garis, mikrokontroler, rangkaian penguat operasional.

1 PENDAHULUAN

Dewasa ini teknologi berkembang dengan sangat pesat, salah satunya adalah di bidang elektronika. Salah satu bentuk penelitian yang akhir-akhir ini cukup menarik perhatian ialah penelitian tentang material ferroelektrik Barium Stronsium Titanat (BST). Dalam penelitian ini film tipis BST dibuat dengan metode *chemical solution deposition* (CSD) karena metode ini memiliki keunggulan yaitu prosedurnya mudah, biayanya relatif murah dan mendapatkan hasil yang bagus.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya, film tipis BST dapat digunakan sebagai sensor cahaya (fotodioda) dan sensor suhu. Film BST dapat dibuat dengan beberapa

metode diantaranya *Pulsed Laser Deposition* (PLD), *Metal Organic Solution Deposition* (MOSD), *Sol-antikann Gel Process* dan *RF Magnetron Sputtering* [1]. Selain itu juga terdapat metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) yang telah lama dikembangkan untuk penumbuhan *perovskite thin film* semenjak tahun 1980-an dan dipublikasikan oleh Fukashima et al [2].

Line Follower Robot (Robot Pengikut Garis) adalah robot yang dapat berjalan mengikuti sebuah lintasan. Garis yang dimaksud adalah garis berwarna gelap di atas permukaan berwarna terang atau sebaliknya. Film tipis BST yang dibuat ini diharapkan menjadi sensor cahaya (fotodioda). Dimana fotodioda ini dapat dikembangkan menjadi detektor garis dan diaplikasikan pada *line follower* robot.

2 METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur penelitian ini meliputi dua bagian utama yaitu pembuatan serta karakterisasi film tipis BST dan pembuatan robot. Gambar 1 menunjukan diagram alur penelitian.

Pembuatan film tipis BST

Film tipis $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ dibuat dengan cara mencampurkan Barium Asetat [$Ba(CH_3COO)_2$, 99%], Stronsium Asetat [$Sr(CH_3COO)_2$, 99%], Titanium Isopropoksida [$Ti(C_{12}O_4H_{28})$, 97.99%] dan 2-Metoksi Etanol sebagai bahan pelarut. Larutan dikocok selama satu jam dengan menggunakan Ultrasonik.

Selanjutnya dilakukan penumbuhan *film* tipis pada substrat Si (100) tipe-*p* yang telah dicuci. Substrat yang telah ditempatkan di atas piringan *spin coating* ditetesi larutan BST sebanyak 1 sampai 3 tetes. Proses selanjutnya adalah *annealing* yang bertujuan mendifusikan larutan BST dengan substrat. Proses selanjutnya adalah pembuatan kontak. Bahan kontak yang dipilih adalah pasta perak 99 %.

Pembuatan mekanik robot

Badan dan rangka robot dibuat dari plastik berbentuk kotak dengan ukuran 5 cm x 15 cm x 5 cm. Badan robot terdiri atas 2 tingkatan, tingkatan pertama berada di bagian bawah adalah sebagai dudukan sensor, dimana terdapat dua sensor garis yang diletakkan pada bagian depan bawah robot. Motor, gearbox dan catu daya diletakan di tingkatan pertama. Tingkatan

kedua berada di atas tingkat pertama berfungsi sebagai dudukan rangkaian elektronika dan mikrokontroler.

Pembuatan Komponan Elektronika

Pada tahap ini perancangan meliputi: pembuatan rangkaian sensor garis dan pembuatan rangkaian penggerak motor (*driver motor*).

Rangkaian Sensor Garis

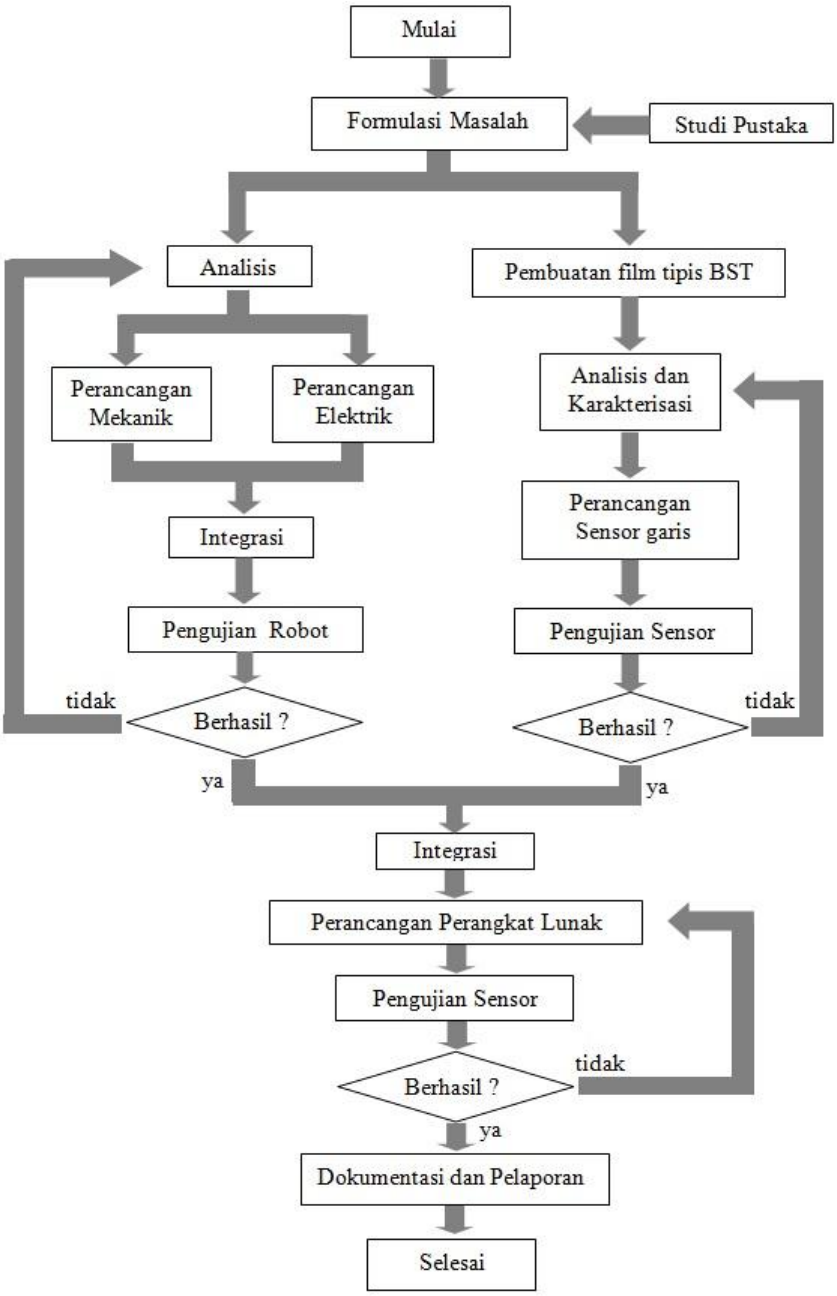
Sensor garis terdiri atas 2 buah film tipis BST yang yang masing-masing dirangkai dengan rangkaian jembatan wheatstone untuk menambah sensitivitas sensor. Sinyal tegangan keluaran dari jembatan wheatstone diperkuat oleh rangkainan op-amp. Untuk *op-amp* digunakan IC LM-324.

Rangkaian Penggerak Motor (Driver Motor)

Untuk menjalankan motor DC digunakan sebuah IC L293D. IC L293 dapat mengontrol dua buah motor DC sekaligus. Sistem kerja dari L293D adalah dengan memberikan sinyal kontrol dalam bentuk logika atau pulsa ke jalur input.

Pemrograman

Pembuatan program dibuat dengan menggunakan software CodeVision AVR C. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C.



Gambar 1 Diagram penelitian

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Sensitivitas Film Tipis BST

Pengukuran sensitivitas film tipis BST diperlukan untuk mencari film tipis terbaik yang akan diaplikasikan pada robot *line follower*. Untuk menambah sensitivitas, film tipis dirangkai dengan rangkaian jembatan *wheatstone*. Pada rangkaian ini film tipis dirangkai secara seri dengan sebuah resistor yang kemudian diparalelkan dengan dua buah resistor yang dirangkai seri.

Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu pada kondisi terang ($\pm$ 410 lux) dan gelap ($\pm$ 2 lux). Tegangan keluaran film tipis BST pada kondisi terang lebih besar dibandingkan pada kondisi gelap. Hal ini disebabkan karena nilai konduktivitas listrik akan meningkat dengan meningkatnya intensitas cahaya yang jatuh pada permukaan fotodioda [3]. Dengan meningkatnya intensitas cahaya maka semakin banyak elektron yang tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi [4]. Elektron yang tereksitasi ke pita konduksi ini akan meningkatkan pembawa muatan yang pada akhirnya akan meningkatkan konduktivitas listrik [5].

Sensitivitas adalah perubahan parameter input minimum yang diperlukan untuk menghasilkan perubahan output yang dapat dideteksi [6]. Atau perbandingan antara perubahan output dengan perubahan input ($\Delta V/\Delta lux$). Semakin besar perubahan output maka film tipis semakin sensitif. Dari hasil pengujian, film tipis BST yang di*annealing* selama 29 jam memiliki sensitivitas yang tertinggi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2, dimana film tipis yang di*annealing* selama 29 jam memiliki perbedaan tegangan yang cukup signifikan yang mengindikasikan bahwa film tipis tersebut memiliki sensitivitas yang tinggi.

Perancangan Film Tipis BST Sebagai Sensor Garis

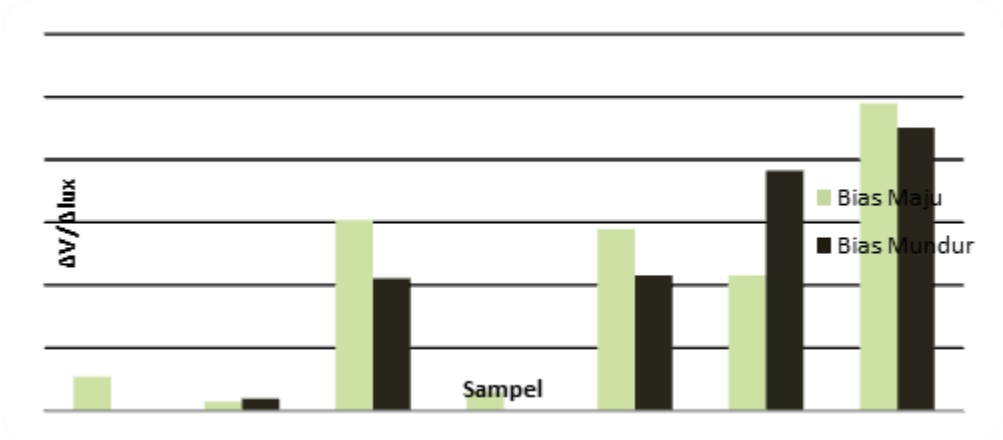
Robot *line follower* pada penelitian ini menggunakan dua buah film tipis BST sebagai sensor cahaya untuk membaca garis pada lintasan untuk menentukan arah gerak robot. Perubahan tegangan jatuh film tipis BST yang kecil perlu diperkuat oleh rangkaian penguat agar dapat dibaca oleh mikrokontroler. Skema rangkaian elektronika lengkap robot *line follower* ditunjukan oleh Gambar 3. Rangkaian penguat pertama adalah rangkaian penguat diferensial. Rangkaian penguat diferensial adalah rangkaian yang membandingkan dua inputan yang masuk [7]. Digunakan rangkaian diferensial pada tahap awal karena film

tipis BST dirangkai dengan jembatan *wheatstone* yang memiliki dua keluaran yaitu V_1 dan V_2. Rangkaian diferensial merupakan gabungan antara rangkaian *non-inverting* (OpAmp 1) dan *inverting* (OpAmp 2). *Gain* atau penguatan untuk rangkaian *non-inverting* adalah:

$$\frac{Vout}{Vin} = \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}}\right) \quad (1)$$

Sedangkan untuk rangkaian inverting

$$\frac{Vout}{Vin} = -\left(\frac{R_f}{R_{in}}\right) \quad (2)$$



Gambar 2 Sensitivitas film tipis BST (ΔV/Δlux) pada rangkaian bias maju dan mundur.

Pada rangkaian inverting (OpAmp2), karena tegangan referensi diberi tegangan referensi positif (V2) maka nilai penguatanya akan berharga positif. Sehingga penguatan total untuk rangkaian diferensial adalah :

$$\frac{Vout}{Vin} = \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}}\right)\left(\frac{R_f}{R_{in}}\right) \quad (3)$$

$$= \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right)\left(\frac{R_4}{R_3}\right) = \left(1 + \frac{100k}{100k}\right)\left(\frac{100k}{100k}\right)$$

$$= 2 \text{ Kali.}$$

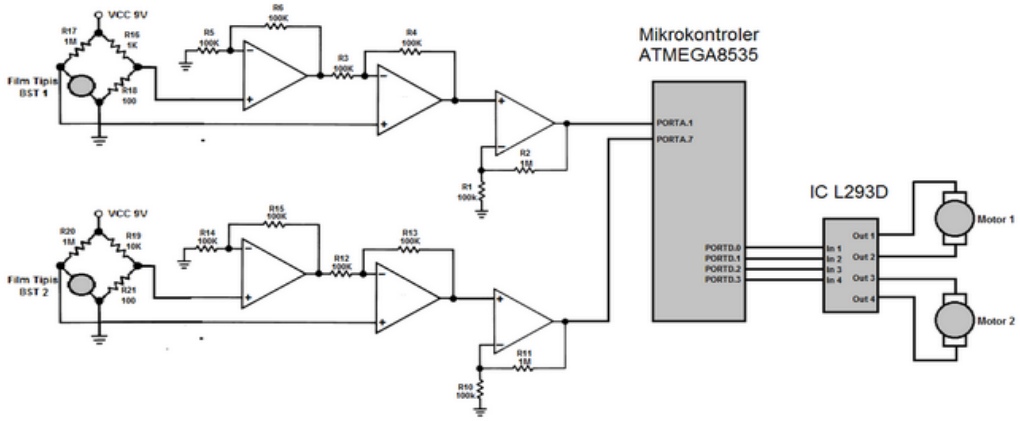
Untuk rangkaian penguat kedua, yaitu rangkaian penguat noninverting (OpAmp 3). Penguatannya adalah:

$$\frac{Vout}{Vin} = \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}}\right) \quad (4)$$

$$= \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = \left(1 + \frac{1M}{100k}\right) = 11 \text{ Kali}$$

Cahaya dari LED akan dipantulkan oleh bidang pantul yang kemudian ditangkap oleh film tipis BST. Semakin banyak cahaya yang dipantulkan, maka intensitas yang ditangkap film tipis BST semakin banyak sehingga tegangan keluarannya semakin besar. Sebaliknya, semakin sedikit cahaya yang dipantulkan maka cahaya yang ditangkap film tipis BST akan sedikit sehingga tegangan keluarannya kecil. Pada penelitian ini digunakan variasi warna LED dan bidang pantulnya.

Berdasarkan hasil karakteristik spektrum serapan panjang gelombang, film tipis BST memiliki serapan pada panjang gelombang cahaya tampak [3]. Tabel 1 menunjukan rentang panjang gelombang cahaya tampak. Respon dari sensor cahaya pada rangkaian dimulai pada intensitas 38 lux dan sangat ekstrim pada intensitas 400 sampai 580 lux [8].



Gambar 3 Skema rangkaian lengkap robot *line follower*.

Tabel 1 Tabel warna dan panjang gelombang cahaya tampak.

Warna	Panjang gelombang
Ungu	380 - 450 nm
Biru	450 - 495 nm
Hijau	495 - 570 nm
Kuning	570 - 590 nm
Jingga	590 - 620 nm
Merah	620 - 750 nm

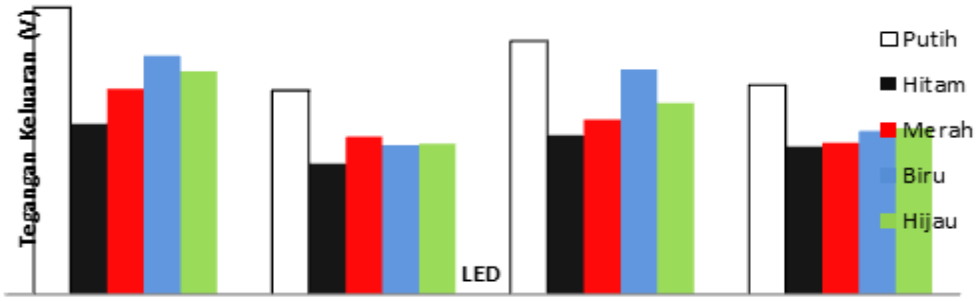
Pada penelitian ini digunakan lampu LED sebagai sumber cahaya karena LED menghasilkan cahaya pada rentang gelombang pada cahaya tampak. Pengujian pada penelitian ini digunakan lampu LED berwarna putih, biru, merah dan hijau. Pemilihan lampu LED dikarenakan LED memiliki intensitas cahaya yang tinggi yang fokus. Berdasarkan pengukuran dengan Luxmeter didapat intensitas LED putih 1984 lux, LED merah 423 lux, LED biru 724 lux dan Led hijau 1294 lux. Sebagai bidang pantul uji digunakan bidang berwarna putih, hitam, merah, biru dan hijau.

Pada Gambar 4 dan 5 didapat untuk semua LED, bidang pantul berwarna putih menghasilkan tegangan keluaran yang terbesar dan bidang pantul berwarna hitam menghasilkan tegangan keluaran yang terkecil. Hal ini disebabkan karena bidang pantul berwarna putih akan memantulkan hampir semua panjang gelombang cahaya sehingga intensitas yang diterima film tipis besar. Sebaliknya, bidang berwarna hitam menyerap hampir semua panjang gelombang cahaya sehingga cahaya yang diterima film tipis BST sedikit.

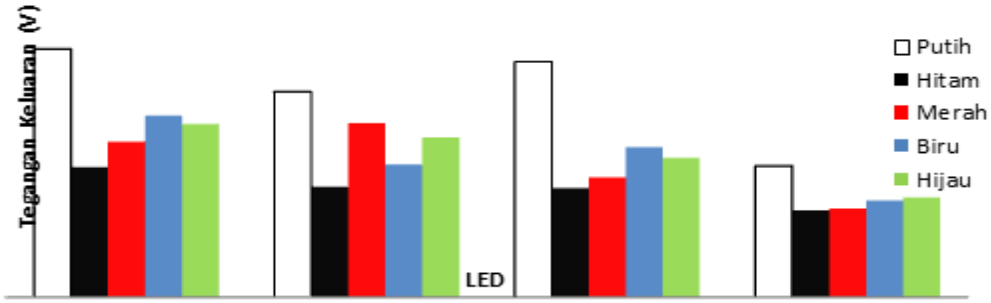
Untuk LED berwarna merah, didapatkan tegangan pada bidang berwarna merah merupakan tertinggi kedua setelah putih. Hal ini disebabkan karena bidang merah akan memantulkan cahaya merah dan menyerap cahaya lainnya. LED merah memancarkan cahaya merah yang akan dipantulkan kembali oleh bidang berwarna merah sehingga pada bidang merah cahaya yang ditangkap film tipis BST banyak. Demikian pula untuk LED biru dan hijau, akan memiliki tegangan keluaran yang besar pada bidang pantul yang memiliki warna yang sama dengan sumber cahayanya. LED biru memiliki perbedaan tegangan yang terbesar untuk masing-masing bidang pantul dibandingkan LED lainnya sehingga pada penelitian ini dipakai LED biru sebagai sumber cahaya pada rangkaian sensor garis.

Rangkaian Driver Motor DC

Rangkaian driver motor dc terdiri dari sebuah IC L293D. Gerak kedua motor ditentukan oleh input yang diberikan pada IC. Terdapat enam jalur input pada L293D yang terdiri atas dua jalur PWM (pulse width modulator) untuk pengaturan kecepatan dan empat jalur untuk arah pergerakan motor. Kecepatan motor akan diatur oleh variasi lebar pulsa yang diberikan oleh mikrokontroler sebagai input PWM. Dari hasil pengujian didapat beberapa kemungkinan kondisi input yang dapat diberikan dan arah pergerakan motor. Tabel 2 menunjukan hasil pengujian kemungkinan input dan output yang dihasilkan.



Gambar 4 Tegangan keluaran film tipis 1 (29A) dengan variasi warna LED dan bidang pantul



Gambar 5 Tegangan keluaran film tipis 2 (29B) dengan variasi warna LED dan bidang pantul

Rangkaian Pengendali Sistem

Rangkaian penengendali sistem adalah sebuah mikrokontroler 8 bit Atmega8535 yang akan mengendalikan rangkaian pendukung pada sistem robot. Tegangan keluaran dari rangkaian sensor garis adalah sinyal inputan bagi mikrokontroler. Sinyal analog dari sensor perlu dirubah terlebih dahulu menjadi sinyal digital oleh ADC yang sudah terintegrasi pada mikrokontroler Atmega8535 agar dapat diolah oleh mikrokontroler. Mikrokontroler menggunakan ADC dengan resolusi 8 bit = 255 desimal. Dengan tegangan referensi 4,8 volt maka mikrokontroler dapat membedakan teganagan yang masuk sebesar 0,0188 volt, artinya setiap kenaikan atau penurunan tegangan sebesar 0,0188 merupakan kondisi baru bagi mikrokontroler.

Tegangan keluaran dari sensor tidak konstan sehingga mikrokontroler tidak dapat dimasukan nilai tegangan referensi secara langsung sebagai pembanding kondisi terang atau gelap. Untuk bisa membedakan garis, pertama pada kondisi awal robot berada pada bidang putih dan mikrokontroler akan membaca tegangan input. Tegangan awal ini akan diartikan bahwa sensor sedang berada di atas bidang putih. Jika tegangan input mengalami penurunan yang cukup signifikan maka mikrokontroler akan menyimpulkan bahwa sensor sedang berada di atas bidang hitam. Selanjutnya mikrokontroler memberikan instruksi kepada kedua motor sebagai respon terhadap input yang diberikan.

Pengujian

Pengujian dilakukan secara keseluruhan pada rancangan yang sudah diintegrasikan menjadi sebuah robot *line follower*. Pengujian yang pertama adalah pengujian fungsional sensor. Pengujian ini untuk memeriksa kesesuaian input yang diberikan dengan output yang ditunjukan oleh pergerakan motor. Tabel 3 menunjukan hasil pengujian fungsional sensor.

Pengujian yang kedua adalah pengujian fungsional robot. Robot akan berjalan pada sebuah jalur hitam di atas bidang putih yang akan mengarahkannya bergerak ke kanan kekiri atau lurus. Tabel 4 menunjukan hasil pengujian fungsional robot dengan variasi sudut belokan. Berdasarkan hasil pengujian didapat bahwa kedua sensor memiliki kinerja yang sama. Pada sudut tikungan 0 sampai 60 derajat robot dapat berbelok dengan baik. Pada sudut di atas 65 derajat robot tidak dapat berbelok dan keluar lintasan.

Tabel 2 Hasil pengujian input pada driver motor dan arah pergerakan motor

Input					**Output**
Biner				**Hex**	
Input 1	**Input 2**	**Input 3**	**Input 4**		
0	0	1	0	02	Motor Kiri Maju
0	0	0	1	01	Motor Kiri Mundur
0	1	0	0	04	Motor Kanan Maju
1	0	0	0	08	Motor Kanan Mundur
0	1	1	0	06	Maju
1	0	0	1	09	Mundur

Tabel 3 Hasil pengujian fungsional sensor.

No	Skenario Uji	Hasil yang diharapkan	Hasil Uji
1	Kedua sensor berada pada bidang putih.	Kedua roda bergerak maju	Berhasil
2	Sensor kanan berada pada bidang putih dan sensor kiri berada pada bidang hitam	Roda kanan bergerak maju dan roda kiri diam.	Berhasil
3	Sensor kanan berada pada bidang hitam dan sensor kiri berada pada bidang putih	Roda kanan diam dan roda kiri bergerak maju.	Berhasil
4	Kedua sensor berada pada bidang hitam.	Kedua roda diam.	Berhasil

Tabel 4 Hasil pengujian fungsional robot dengan variasi sudut tikungan.

No	Sudut tikungan	Hasil uji	
		Belok kanan	Belok Kiri
1	0^0	Berhasil	Berhasil
2	10^0	Berhasil	Berhasil
3	20^0	Berhasil	Berhasil
4	30^0	Berhasil	Berhasil
5	40^0	Berhasil	Berhasil
6	50^0	Berhasil	Berhasil
7	60^0	Berhasil	Berhasil
8	65^0	Tidak berhasil	Tidak berhasil
9	70^0	Tidak berhasil	Tidak berhasil

4 KESIMPULAN

Film tipis BST menunjukkan perubahan nilai konduktivitas listrik ketika intensitas cahaya yang jatuh pada film tipis berubah. Berdasarkan uji sensitivitas, secara keseluruhan film tipis BST yang di*annealing* selama 29 jam adalah film tipis paling baik. Dengan demikian film tipis inilah yang diaplikasikan sebagai detektor garis pada robot *line follower*.

Sebagai pengendali robot, digunakan mikrokontroler Atmega8535. Inputan pada mikrokontroler adalah perubahan tegangan jatuh pada film tipis akibat perubahan intensitas cahaya. Perubahan tegangan jatuh sangat kecil sehingga perlu diperkuat oleh rangkaian penguat operasional. Rangkaian penguat yang digunakan pada penelitian ini adalah rangkaian penguat diferensial dan penguat *noninverting*. Mikrokontroler memberikan instruksi kepada kedua motor sebagai respon terhadap input yang diberikan. Film tipis memiliki daerah serapan pada panjang gelombang cahaya tampak sehingga pada penelitian ini digunakan lampu LED sebagai sumber cahaya. Sebagai sumber cahaya digunakan LED berwarna biru (450 - 495 nm) karena memiliki kontras yang tertinggi untuk membedakan bidang berwarna gelap dan terang.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Giridharan, N.V, P. Ramasamy, R. Jayavel,. 2001. *Structural, Morphoogical and Electrical Studies on Barium Strontium Titanate Thin Films Prepared by Sol-Gel Technique*. Crystal Growth Centre, Anna University, Chennai, India, **36** (1), 65-72.

[2] Schwartz, R.W. 1997. *Chemical Solution Deposition of Perovskite Thin Films*. Department of Ceramic and Materials Engineering, Clemson University, Clemson, South Carolina 29634-0907, **9** (11), 2325-2340.

[3] Heriyanto S. 2010. Pengintegrasian Sensor Cahaya Tampak Berbasis Film Tipis Material Ferroelektrik $Ba_{0,25}Sr_{0,75}TiO3$ pada Mikrokontroler ATMega8535 [Thesis]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

[4] Omar MA. 1993 *Elementary Solid State Physics*. Addison-Wesley Publishing Company.

[5] Milan J, Lauhon L, Allen J. 2005. Photoconductivity of semiconducting CdS Nanowires. *Spring* 2(1):43-47.

[6] Johnson M. 2004. *Photodetection and Measurement: Maximizing Performance in Optical Systems*. United States of America: The McGraw-Hill Companies.

[7] Clayton G, Winder S. 2005. *Operational Amplifiers*. Kastawan W, penerjemah; Santika W, editor. England: Elsevier Ltd. Terjemahan dari: *Operational Amplifiers*.

[8] Irzaman, Arif A, Syafutra H, Romzie M. 2009. Studi konduktivitas listrik, kurva I-V dan celah energi fotodioda berbasis film semikonduktor BST yang didadah galium menggunakan metode chemical solution deposition (CSD). *Jurn Apl Fis* 5(1): 22-30.

EFEK FOTOVOLTAIK PADA PERSAMBUNGAN CdS DENGAN CAMPURAN P3HT/KITOSAN

Sitti Yani, Akhiruddin Maddu, Irmansyah

Departemen Fisika, FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
sitti.yani@gmail.com

ABSTRAK

Dalam penelitian ini telah dibuat sel fotovoltaik CdS/P3HT-kitosan dengan memberikan variasi doping Boron pada lapisan CdS. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek fotovoltaik pada persambungan CdS/Poly3-heksitiophene-kitosan. Penumbuhan CdS dilakukan dengan metode Chemical Bath Deposistion (CBD) sedangkan penumbuhan polimer dengan metode drop casting. Pemberian doping Boron dilakukan dengan penambahan asam borat (H3BO3), jumlah penambahan H3BO3 sebanyak 4%, 6% dan 8% dari berat CdCl2. Efek fotovoltaik pada persambungan ini selanjutnya diukur respon dinamik dan kestabilan tegangannya dengan menggunakan sensor tegangan. Pengukuran ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan rangkaian tertutup (Voc) dan time constant (□) masing-masing sel. Besanya Voc dari sel fotovoltaik ini berkisar antara 107 – 286 mV. Sel dengan tegangan Voc terbesar dimiliki oleh sel dengan doping 6% dan suhu annealing 200oC. Besarnya time constant tiap sel berkisar antara 2,5 – 43,75 s. Sel dengan time constant terkecil adalah sel dengan doping 4% wt tanpa annealing sebesar 2,5 yang menunjukkan bahwa recovery respon sel ini sangat baik. Berarti bahwa sel ini memiliki hambatan dalam yang kecil.

Kata Kunci*:* cadmium sulfida, *chemical bath deposition,* efek fotovoltaik, P3HT, kitosan

1 PENDAHULUAN

Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi, luar biasa besarnya yaitu mencapai 3 x 10^{24} Joule per tahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Dengan kata lain, dengan menutup 0,1% saja permukaan bumi dengan piranti sel surya yang memiliki efisiensi 10% sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia saat ini [1].

Penelitian sel surya sangat intensif dilakukan dengan material dan struktur yang sangat bervariasi. Berbagai jenis material semikonduktor diuji karakteristiknya untuk mendapatkan karakter yang sesuai untuk aplikasi sel surya, diantaranya adalah bahan organik. Di lain pihak, pengembangan metode-metode sederhana dalam pabrikasi sel surya banyak dilakukan untuk menekan biaya produksinya.

CdS merupakan bahan semikonduktor logam *chalcogenide* dari senyawa golongan II-IV yang memiliki celah energi sebesar 2,45 eV, material fotokonduktif, indeks bias 2,5 dan termasuk semikonduktor tipe-n [2]. CdS secara luas digunakan untuk sel surya heterojunction CdS/CdTe dan CdS/Cu_2S. Hal ini disebabkan karena CdS memiliki energi celah pita (*bandgap*) menengah, efisiensi konversinya cocok digunakan sebagai bahan sel surya, stabilitas dan biaya produksinya rendah.

Bahan polimer terkonjugasi menunjukkan sifat optoelektronik semikonduktor seperti sifat mekanik dan manfaat yang diharapkan pada bahan polimer [3]. Diantara berbagai jenis sel surya organik, sistem sel surya organik-anorganik hibrid merupakan jenis yang sangat menjanjikan dimana tidak hanya memiliki area *interface* yang luas dimana eksiton, ikatan antara pasangan elektron-hole, yang dapat dipisahkan secara efektif tetapi juga memiliki dua saluran yang terpisah untuk transpor elekron dan hole, yaitu masing-masing semikonduktor nanorod dan lapisan polimer [4].

Metode yang digunakan dalam konstruksi sel surya merupakan metode yang relatif sederhana, tidak membutuhkan peralatan yang canggih, menghasilkan film yang homogen dan mudah dalam pembuatan film tipis semikonduktor, yaitu metode CBD (*Chemical Bath Deposition*) untuk preparasi lapisan tipis CdS [5,6,7,8,9]. Sementara itu digunakan metode *drop coating* untuk deposisi lapisan P3HT-kitosan agar mendapatkan lapisan polimer yang merata pada permukaan CdS.

Tujuan penelitian ini secara khusus adalah mempelajari efek fotovoltaik pada persambungan CdS dengan Poly 3-Hexylthiophene (P3HT)/kitosan.

2 METODOLOGI

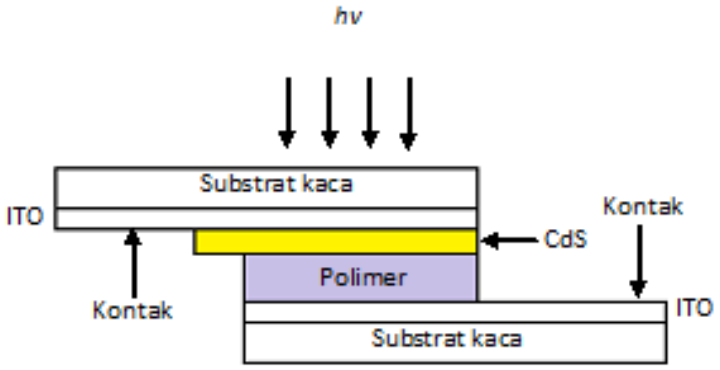
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *hot plate* dilengkapi pengaduk magnetik, tabung reaksi, gelas piala, *furnace*, Interface Scientific Workshop 750 (PASCO), Photometer PMA2200, lampu MHF M1102, gelas ukur dan neraca analitik. Sedangkan bahan yang digunakan adalah kaca TCO, $CdCl_2$), CS(NH2)2, TEA, polietilen glikol (PEG), asam borat (H_3BO_3), kitosan, poly 3-hexyltiophene (P3HT), amonium hidroksida (NH_4OH), asam asetat (CH3COOH), dan akuades.

Film CdS dibuat dengan melarutkan 20 ml CdCl2 (0,1 M) dicampur dengan 20 ml Thiourea (1 M) di dalam gelas piala 100 ml. Larutan tersebut diletakkan di atas *hot plate* dipanaskan pada suhu 30 ^oC dan diputar pada kelajuan 300 rpm selama 30 menit. 10 mL

NH4OH (0,1 M) dan 5 ml TEA ditambahkan ke dalam larutan campuran tersebut. Larutan campuran tersebut dipanaskan pada suhu 70 ^{o}C dan diaduk pada kelajuan 300 rpm selama 1,5 jam. Metode ini diadopsi dari metode CBD yang telah dilakukan oleh Eitssayeam et al. [10] dengan melakukan sedikit modifikasi. Selain itu, dibuat pula film CdS dengan doping Boron dengan menambahkan 4%, 6% dan 8% asam borat (H_3BO_3). Film yang dihasilkan selanjutnya dianil pada suhu 200, 300 dan 400 ^{o}C.

Polimer campuran P3HT/Kitosan dibuat dari dua larutan. Larutan pertama dibuat dengan mencampurkan kitosan dan PEG masing-masing 2 mg ke dalam gelas piala di atas *hot plate* dan diaduk dengan kecepatan 480 rpm tanpa pemanasan selama 30 menit. Larutan yang terbentuk berwarna bening. Larutan kedua dibuat dengan mencampurkan 3 mg P3HT ke dalam 10 ml kloroform yang diputar dengan kecepatan 400 rpm selama 10 menit. Larutan yang dihasilkan berwarna ungu. Setelah 10 menit, sebanyak 5 ml larutan tersebut dimasukkan ke dalam larutan pertama tanpa menghentikan pengadukan.

Lapisan tipis CdS dideposisikan pada substrat kaca ITO dengan metode CBD, kemudian lapisan tipis P3HT/kitosan dideposisikan di atas permukaan CdS dengan metode *drop casting*. Substrat kaca ITO disisakan sedikit (tanpa lapisan CdS/Polythiophene) untuk tujuan kontak arus. Terakhir dilengkapi lapisan kontak di atas permukaan ITO dan di atas permukaan lapisan P3HT/kitosan (Gambar 1).



Gambar 1 Struktur Junction CdS/P3HT-Kitosan

Respon dinamik dan kestabilan tegangan pada persambungan CdS-P3HT/kitosan diukur dengan menggunakan sensor tegangan yang dihubungkan dengan Interface Scientific Workshop 750 (PASCO). Data diambil dengan menggunakan software DataStudio. Intensitas

cahaya yang diberikan diukur dengan menggunakan photometer PMA2200. Tabel 1 menunjukkan kode sel yang dibuat dengan memvariasikan jumlah doping Boron yang diberikan dan temperatur annealing terhadap film CdS.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Sel surya polimer hibrid menggunakan kombinasi polimer dan bahan semikonduktor anorganik terkonjugasi yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energy listrik. Keuntungan dua bahan dengan sifat elektronik yang merupakan persambungan tipe p dan n sangat penting dalam operasi dari setiap sel surya polimer hibrid karena fotoeksitasi dari polimer terkonjugasi menyediakan ikatan pasangan elektron-*hole* atau eksiton dibanding muatan bebas. Eksiton ini dapat dipisahkan secara efisien pada *interface* dengan bahan kedua melalui transfer elektron atau *hole* untuk menghasilkan muatan bebas yang dapat membangkitkan efek fotovoltaik.

Dalam penelitian ini dibuat delapan buah sel surya dengan variasi doping barium (B) pada film CdS dengan juga variasi suhu anil pada film CdS, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

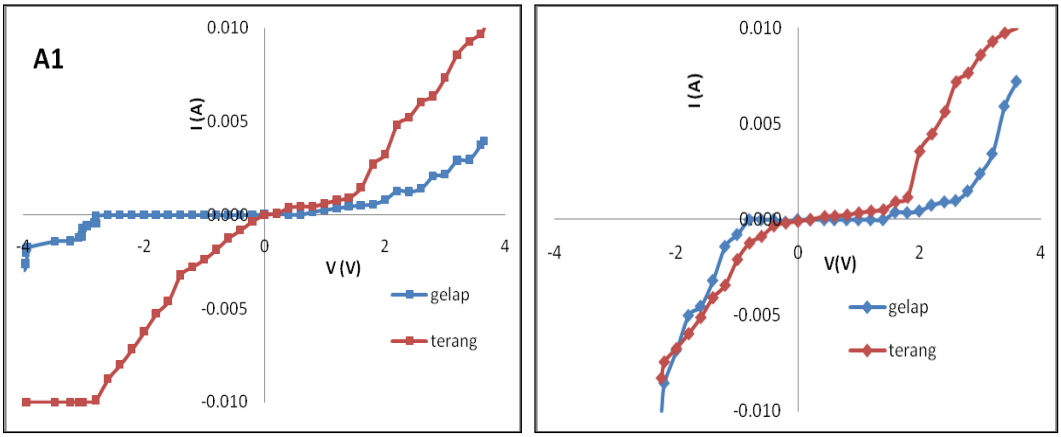
Tabel 1 Kode Sampel Sel CdS/P3HT-Kitosan

Kode Sel	**Doping CdS(%)**	**T *annealing* CdS (^oC)**	**Kode Sel**	**Doping CdS (%)**	**T *annealing* CdS (^oC)**
A1	0	0	C1	6	0
A2		200	C2		200
A3		300	C3		300
A4		400	C4		400
B1	4	0	D1	8	0
B2		200	D2		200
B3		300	D3		300
B4		400	D4		400

Gambar 2 menunjukkan kurva arus-tegangan sel A1 dan A2. Gambar ini memperlihatkan distribusi arus-tegangan yang tidak linier dan tidak simetri menunjukkan bahwa pada sel terbentuk potensial penghalang yang dapat menghambat aliran muatan. Kurva ini dapat menjelaskan bahwa pada setiap sel telah terbentuk persambungan (*junction*) yang sangat diharapkan dalam sebuah sel fotovoltaik baik itu dalam kondisi gelap maupun pada saat disinari.

Kedua sel dalam kondisi gelap menunjukkan kenaikan arus ketika diberikan panjar maju hal ini dikarenakan daerah deplesi pada persambungan akan mengalami penyempitan sehingga elektron yang sangat berkontribusi terhadap arus yang dihasilkan dapat mengalir dengan mudah. Pada saat itu, sel diberikan tambahan tegangan eksternal yaitu 0 - 4 volt. Ketika diberikan panjar mundur (-4 - 0 Volt), potensial penghalang sel akan semakin besar sehingga muatan-muatan pembawa tidak dapat mengalir. Dalam keadaan itu, arus yang dihasilkan mendekati nol. Namun, pada tegangan yang lebih kecil, akan terjadi kebocoran arus.

Adanya penyinaran oleh cahaya pada permukaan sel akan meningkatkan pasangan elektron-*hole* pada daerah persambungan CdS/Polimer. Pasangan elektron-*hole* ini akan terpisah akibat adanya medan listrik yang selanjutnya akan berkontribusi terhadap peningkatan arus foto sehingga dari Gambar 2, terlihat adanya peningkatan arus ketika sel disinari dibandingkan pada kondisi gelap. Oleh karena itu sel yang dibuat bersifat fotovoltaik.



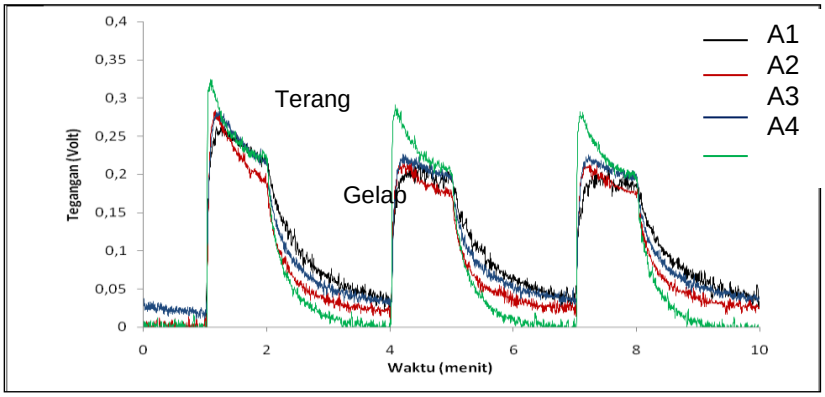
Gambar 2 Kurva karakteristik arus(I)-tegangan(V) sel A1 dan A2

Respon dinamik sel terhadap cahaya ditunjukkan pada Gambar 3. Pada gambar terlihat bahwa karakteristik tiap sel berbeda-beda. Besarnya intensitas cahaya yang diberikan sebesar 71,8 W/m^2. Sel A4 menunjukkan sensitivitas yang lebih baik dibandingkan dengan sel A1, A2 dan A3. Perbedaan sensitivitas ini dapat disebabkan oleh perbedaan karakteristik sel dalam merespon cahaya. Sel yang tingkat sensitivitasnya rendah hanya dapat merespon cahaya jika cahaya yang mengenainya memiliki intensitas yang tinggi. Hal ini juga dapat disebabkan oleh sedikitnya eksiton yang dibangkitkan dan sedikitnya jumlah muatan yang

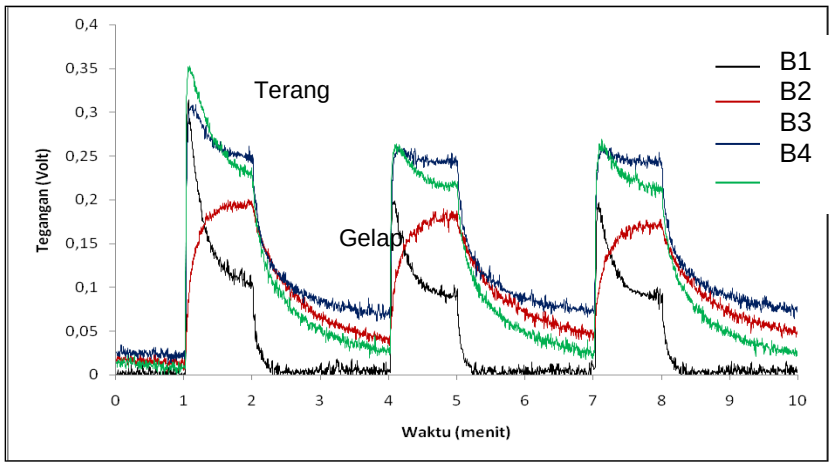
sampai pada elektroda ketika sel disinari dengan cahaya yang intensitasnya rendah. Sedikitnya muatan yang sampai di elektroda disebabkan tebalnya film yang lebih panjang dari panjang lintasan difusi muatan sehingga banyak muatan yang berekombinasi sebelum sampai di elektroda. Jadi, tebal sel juga mempengaruhi respon dinamik sel.

Berdasarkan kurva respon dinamik (Gambar 3) dapat diketahui seberapa besar tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). Nilai V_{oc} masing-masing sel dapat dilihat pada Tabel 2. Tegangan yang dihasilkan oleh sel tidak menunjukkan stabilitas yang belum baik. Misalnya untuk sel A1, ketika disinari, tegangan V_{oc} mencapai nilai 234 mV. Namun setelah tidak disinari dan selanjutnya disinari lagi, terlihat bahwa V_{oc} yang dihasilkan lebih kecil yakni sebesar 196 mV saja. Sedangkan respon dinamik untuk sel B1, B2 B3 dan B4 diperlihatkan pada Gambar 4.

Besarnya respon dinamik sel juga dapat dilihat dari konstanta waktu, jika sel dianalogikan sebagai kapasitor. Tabel 2 juga menunjukkan konstanta waktu tiap sel. Besarnya konstanta waktu sel dapat pula dilihat dari lambatnya penurunan tegangan ketika penyinaran dihentikan.



Gambar 3 Respon dinamik dan kestabilan tegangan sel A1, A2, A3 dan A4 terhadap cahaya

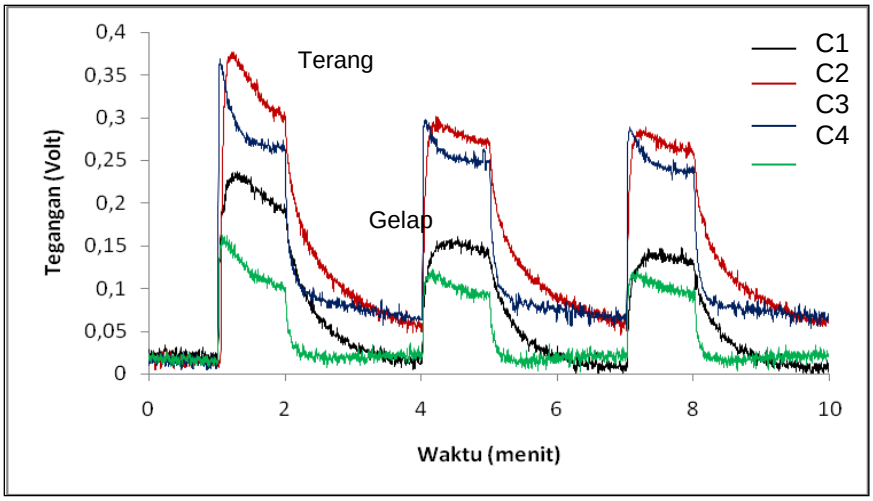


Gambar 4 Respon dinamik dan kestabilan tegangan sel B1, B2, B3 dan B4 terhadap cahaya

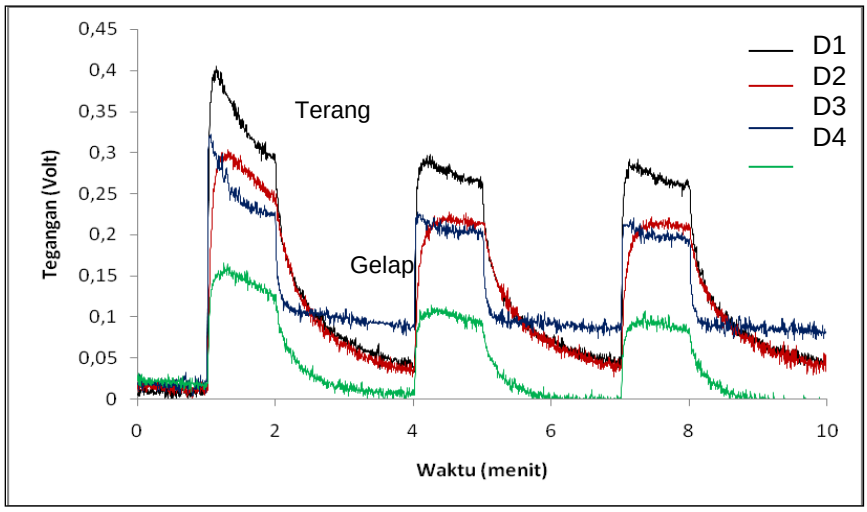
Dari kurva dinamik terlihat bahwa sel B4 mempunyai nilai V_{oc} yang lebih besar dibanding sel yang lainnya. Sedangkan konstanta waktu yang paling baik dimiliki oleh sel B1. Hal ini berarti bahwa sel ini merespon cahaya datag dengan baik walaupun terlihat bahwa sel ini memiliki V_{oc} yang lebih kecil. Kecilnya kostanta waktu *recovery response* mempercepat penurunan tegangan ketika penyinaran dihentikan. Sel B2 merupakan sel yang memiliki konstanta waktu yang paling besar yang berarti bahwa sel ini menunjukkan respon yang kurang baik terhadap cahaya. Gambar 5 menunjukkan respon dinamik dan kestabilan tegangan sel C1, C2, C3 dan C4 terhadap cahaya.

Parameter fotovoltaik yang diamati terutama nilai tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) sangat dipengaruhi oleh struktur selnya masing-masing. Lapisan polimer yang terlalu tebal dapat meningkatkan hambatan dalam sel. Peningkatan hambatan ini berarti penurunan konduktivitas sel yang mempengaruhi mobilitas muatan pembawa di dalam sel. Selain itu dapat pula dipengaruhi oleh luas permukaan masing-masing sel.

Ketebalan lapisan polimer yang diteteskan pada tiap sel tidak dapat dikatakan sama untuk semua sel. Walaupun pada saat penetesan dilakukan teknik *drop casting* di mana diharapkan diperoleh ketebalan polimer yang sama untuk semua sel, namun karena polimernya bersifat gel maka terjadi kebocoran pada tepi lapisan. Pengurangan jumlah polimer berarti penurunan jumlah eksiton yang dapat dibangkitkan ketika sel disinari.



Gambar 5 Respon dinamik dan kestabilan tegangan sel C1, C2, C3 dan C4 terhadap cahaya



Gambar 6 Respon dinamik dan kestabilan tegangan sel D1, D2, D3 dan D4 terhadap cahaya

Dari Tabel 2 terlihat bahwa sel dengan doping 6% wt dan suhu *annealing* 200 ^{o}C memiliki tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) paling besar yakni 286 mV. Sel ini memiliki konstanta waktu sebesar 10,87 detik yang menunjukkan bahwa sel ini memiliki respon cahaya yang baik walaupun tak sebaik sel B1. Sel ini memiliki luas permukaan persambungan yang luas dan morfologi sel yang baik secara kasat mata. Luasnya bidang

interface antara CdS dan polimer berarti semakin banyak pula pasangan elektron-*hole* yang ada sehingga arus dan tegangan yang dihasilkan pun akan semakin banyak.

Celah energi dan konduktifitas CdS merupakan parameter mikroskopik yang mempengaruhi efek fotovoltaik persambungan CdS/P3HT-Kitosan. Hal ini tidak dapat diketahui secara pasti bagaimana pengaruh morfologi, celah energi dan konduktivitas CdS terhadap mekanisme fotovoltaik yang terjadi. Pada saat persambungan CdS/P3HT-Kitosan dikenai cahaya maka elektron pada CdS (tipe-n), persambungan dan pada P3HT-kitosan terjadi eksitasi elektron jika energi foton yang mengenai sel tersebut lebih besar dari celah energi pada tiap bagian tersebut. Walaupun CdS sendiri secara khusus berfungsi sebagai *window layer* dan penyedia level energi bagi elektron namun CdS harus memiliki mobilitas elektron yang tinggi yang berkaitan erat dengan konduktivitas.

Tabel 2 Nilai V_{oc} dan Konstanta Waktu Tiap Sel CdS/P3HT-Kitosan

Sampel	V_{oc} (mV)	τ (RC) (detik)	Sampel	V_{oc} (mV)	τ (RC) (detik)
A1	196	37,5	C1	155	19,8
A2	189	20,3	C2	286	22,6
A3	206	25,7	C3	262	20,7
A4	221	11,9	C4	110	5,4
B1	117	2,5	D1	278	20,4
B2	193	38,1	D2	220	26,3
B3	266	43,57	D3	203	15,5
B4	231	31,1	D4	107	10,97

Karena konduktansi sebanding dengan konduktifitas maka bahan yang memiliki konduktansi yang tinggi akan memiliki mobilitas elektron/*hole* yang tinggi pula. Bahan dengan konduktifitas yang tinggi berarti memiliki kemampuan yang tinggi juga untuk mengalirkan elektron/*hole* di dalam bahan tersebut. Jadi secara mikroskopik, baik celah energi maupun konduktansi/resistansi CdS mempengaruhi parameter makroskopik efek fotovoltaik persambungan dua tipe semikonduktor yang berbeda. Secara teori kedua hal ini sebanding dengan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). Namun dalam penelitian ini tidak terlihat dengan jelas hubungan tersebut karena ketidak konsistenan dalam tiap pengukuran. Hal ini dapat diatasi dengan penggunaan luas permukaan ITO yang sama, *spacer* (untuk mencegah kebocoran polimer) dan sumber cahaya yang tidak *mobile* sehingga intensitas cahaya yang diberikan terhadap semua sel, sama.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) pada persambungan CdS/P3HT-kitosan terbesar terjadi pada sel B3 (sel dengan doping 4% wt Boron, temperatur *annealing* 300°C). Hal ini disebabkan oleh sel ini mempunyai permukaan yang luas dan morfologi selnya sangat baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Gratzel, M. 2003. Review Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 4:145–153.

[2] Hiie J, Dedova T, Valdna V, Muska K. 2006.Comparative Study of Nano-Structured CdS Thin Films Prepared by CBD and Spray Pyrolysis: Annealing Effect. *Thin Solid Films* 511–512:443–447.

[3] Kietzke T. 2007. Review Article Recent Advances in Organic Solar Cells. *Advances in OptoElectronics*; Article ID 40285:1-15.

[4] Kang Y, Kim D. 2005.Well-Aligned CdS Nanorod/Conjugated Polymer Solar Cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 90:166–174.

[5] Khallaf H, Chai G, Lupan O, Chow L, Park S, Schulte A. 2008. Investigation of Aluminium and Indium *in situ* Doping of Chemical Bath Deposited CdS Thin Films. *J. Phys. D: Appl. Phys* 41:185304.

[6] Cetinorgu E, Gumus C, Esen R. 2006. Effects of Deposition Time and Temperature on The Optical Properties of Air-Annealed Chemical Bath Deposited CdS Films. *Thin Solid Films* 515:1688–1693.

[7] Khallaf H, Chai G, Lupan O, Chow L, Heinrich H, Park S, Schulte, A. 2009. In-situ Boron Doping of Chemical-Bath Deposited CdS Thin Films. *Hys. Status Solidi* 206(2):256–262.

[8] Metin H, Sat F, Erat S, Ari M. 2008. Cadmium Sulphide Thin Films Grown by CBD: The Effect of Thermal Annealing on The Structural, Electrical and Optical Properties. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* 10(10):2622–2630.

[9] Zhou X, Li Z, Xu S. 2008. Preparation and Formation Mechanism of CdS Nano-Films Via Chemical Bath Deposition. *Front. Chem. China* 3(1):18–22.

[10] Eitssayeam S, Inthatha U, Pengpat K, Tunkasiri T. 2005. Properties of CdS:Ni Films Prepared By Chemical Bath Deposition Method. *Journal of Materials Science* 40:3803 – 3807.

SIFAT OPTIK FILM ZnO NANOKRISTAL YANG DITUMBUHKAN DENGAN METODE *CHEMICAL BATH DEPOSITION* (CBD)

Akhiruddin Maddu, Ujang Sudrajat, Mersi Kurniati
Departemen Fisika, FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
akhirmaddu@hotmail.com

ABSTRAK

Telah dibuat film-film ZnO nanokristal dengan metode *chemical bath deposition* (CBD). Tiga buah film ZnO dihasilkan dengan waktu deposisi berbeda, yaitu 3 jam, 5 jam dan 7 jam. Struktur dan sifat optik film-film ZnO yang dihasilkan dipelajari. Berdasarkan analisis difraksi sinar-X, film-film ZnO memiliki struktur *wurtzite* heksagonal. Ukuran kristal diperoleh dari pelebaran puncak difraksi sinar-X, masing-masing adalah 4,64 nm untuk film ZnO yang dideposisi selama 5 jam dan 9,30 nm untuk film ZnO yang dideposisi selama 7 jam. Hasil uji sifat optik memperlihatkan bahwa film-film ZnO menyerap dengan kuat spektrum UV (400 nm < λ) dengan puncak absorpsi sekitar 360 nm yang meningkat seiring lama waktu deposisi. Indeks bias film ZnO meningkat seiring lama waktu deposisi. Nilai celah energi (E_g) ditentukan dari *plot Touc* berdasarkan spektrum absorbansinya, diperoleh nilai E_g film-film ZnO masing-masing adalah 3,15 eV untuk film yang dideposisi selama 3 jam; 3,10 eV untuk film yang dideposisi selama 5 jam; dan 3,00 eV untuk film yang dideposisi 7 jam.

Kata Kunci*:* ZnO, nanokristal, *chemical bath deposition*, celah energi (E_g)

1 PENDAHULUAN

Saat ini pengembangan material nanostruktur atau nanomaterial mendapat perhatian yang sangat besar, karena sifat fisika dan kimianya yang unik begitupun aplikasi industrinya yang sangat menjanjikan. Diantara nanomaterial yang banyak dikembangkan saat ini adalah nanostruktur ZnO yang memiliki banyak sifat unik dan menarik [1,2]. ZnO adalah bahan semikonduktor senyawa II-VI dengan celah pita langsung yang lebar, sekitar 3,3 eV pada suhu ruang [3,4]. Struktur kristal paling menonjol dari ZnO adalah tipe *wurtzite* (heksagonal), namun juga ada yang berstruktur *zincblende* (kubik) dan *rocksalt*. Pada tipe *wurtzite* dengan struktur kisi kristal heksagonal memiliki parameter kisi, a = 3,24 Å dan c = 5,16 Å [2].

ZnO memiliki banyak sifat yang sangat berguna, seperti absorpsi dan emisi optik [3,5], konduktivitas listrik [6], fotokatalitik [7] dan sensitivitas gas [8]. Oleh karena itu banyak usaha difokuskan pada mekanisme atau proses sintesis semikonduktor ZnO. Karena

sifat-sifatnya yang khas tersebut, ZnO banyak dipelajari potensi-potensi aplikasinya dalam berbagai bidang diantaranya piranti optoelektronik seperti dioda pemancar cahaya [9-11], fotodetektor [12], dan sel surya tersensitisasi dye [9]. ZnO juga banyak dibuat sebagai film transparan konduktif pada substrat kaca untuk berbagai piranti optoelektronk seperti peraga TFT, LED dan sel surya film tipis [13].

Dalam bentuk nanostruktur, ZnO banyak disintesis dalam bentuk *nanofiber* [6], *nanorod* [7,10] dan *nanowire* [12]. Berbagai metode telah dikembangkan untuk menumbuhkan film nanostruktur ZnO, seperti metode elektrokimia [3,10], deposisi laser berpulsa [13], sol-gel [2,5], *spray pyrolisis* [6], dan *chemical solution deposition* [4,9,14]. Masing-masing metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan ditinjau dari kualitas film yang dihasilkan, kemudahan proses serta biaya deposisinya.

Sebuah metode yang juga banyak dikembangkan untuk menumbuhkan film nanostruktur ZnO adalah metode *chemical bath deposition* (CBD) [8,15]. Metode CBD dikenal sebagai teknik sederhana, murah, proses suhu rendah dan dengan area deposisi yang luas. Dalam tulisan ini dilaporkan hasil sintesis film ZnO nanokristal pada substrat kaca dengan metode CBD. Metode ini dilakukan dengan harapan menghasilkan film ZnO yang seragam dan tidak retak yang biasa muncul pada metode deposisi lainnya seperti metode sol-gel dan metode *spray pyrolysis*.

2 METODOLOGI

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah substrat kaca, $(CH_3COO)_2$ $Zn.2H_2O$), NH_4OH, aseton dan akuades. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah multimeter digital, gelas ukur, pipet, gelas piala, termometer, pengaduk magnetik pelat panas, neraca OHAUSS 31, mikrometer film *merk Tecloc*, UV-VIS *merk Genesys*^{TM} *10 Series Spectrophotometers* dan Difraktometer sinar-X (XRD) Shimadzu tipe XD-610.

Film ZnO dibuat dengan metode *chemical bath deposition* (CBD) menggunakan larutan yang mengandung ion-ion Zn^{2+} dan ion-ion O^{2-}. Sebagai sumber ion Zn^{2+} adalah larutan $(CH_3COO)_2$ $Zn.2H_2O$), sedangkan sumber ion O^{2-} adalah larutan NH_4OH. Reaksi pembentukan film ZnO dituliskan sebagai berikut

$$(CH_3COO)_2 Zn.H_2O + 2NH_4OH \rightarrow Zn(OH)_2 + 2CH_3COONH_4 + 2H_2O$$

$$Zn(OH)_2 \rightarrow ZnO + H_2O$$

Mula-mulah film $Zn(OH)_2$ ditumbuhkan pada substrat kaca *slide* mikroskop, kemudian dipanaskan untuk mentransformasi $Zn(OH)_2$ menjadi ZnO dengan menguapkan H_2O. Substrat ditempatkan secara vertikal pada dinding sebelah dalam wadah *(bath*) deposisi, yang berisi larutan yang mengandung ion-ion Zn^{2+} dan O^{2-}. Wadah deposisi diletakkan di atas pelat panas yang dilengkapi pengaduk magnetik, kemudian diaduk dengan kecepatan 300 rpm sambil dipanaskan. Kondisi deposisi dikontrol, dalam hal ini suhu dan waktu deposisi. Suhu deposisi dikontrol pada pelat pemanas yang dapat diatur, yaitu pada 70 ^oC. Waktu deposisi ditetapkan 3 jam, 5 jam dan 7 jam. Ketiga sampel film ZnO dipanaskan di dalam *furnace* pada suhu 325^oC selama 1 jam untuk mentransformasi fasa $Zn(OH)_2$ menjadi fasa ZnO.

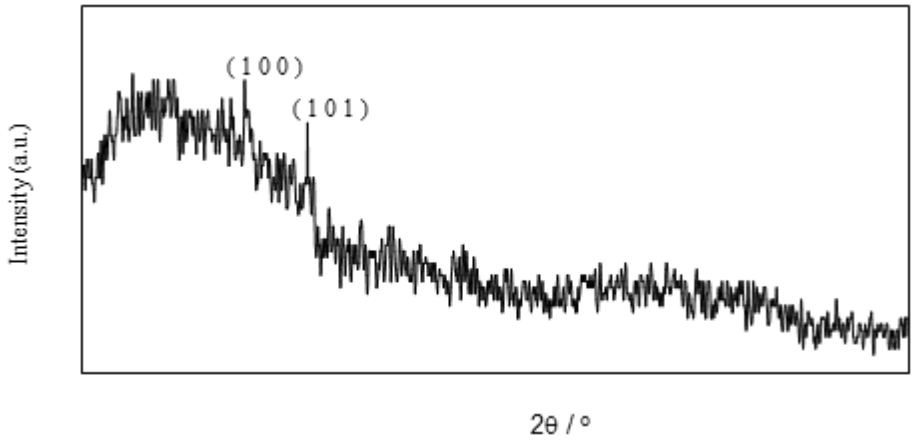
Struktur kristal film-film ZnO dianalisis dengan difraksi sinar-X (XRD). Pola difraksi XRD memberikan informasi tentang orientasi dan fasa kristal serta ukuran kristal ZnO. Sifat optik film ZnO dipelajari dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang memberikan informasi tentang karakteristik absorpsi optik film ZnO. Berdasarkan karakteristik absorpsi tersebut dapat ditentukan nilai indeks bias dan nilai energi celah pita optik (E_g) film ZnO.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

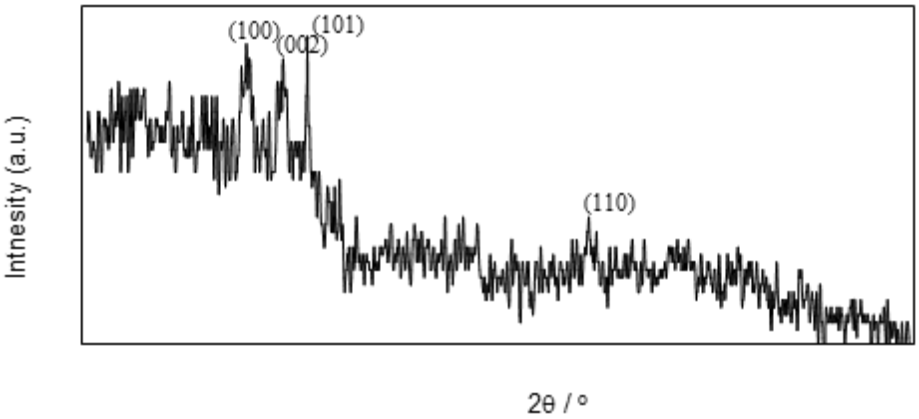
3.1 Struktur Film ZnO

Penumbuhan film ZnO pada substrat kaca dilakukan dengan metode *chemical bath deposition* (CBD). Tiga sampel film ZnO dihasilkan dengan waktu deposisi berbeda, yaitu 3 jam, 5 jam dan 7 jam. Struktur kristal ZnO dianalisis dengan difraksi sinar-X yang dipayar pada rentang sudut 2θ dari 20° hingga 80° menggunakan sumber CuKα dengan panjang gelombang (λ) = 1.54056 Å.

Hanya dua sampel film ZnO yang dianalisis XRD, yaitu film yang dideposisi selama 5 jam dan 7 jam. Ada perbedaan nyata pada pola difraksi kedua sampel, film ZnO yang dideposisi selama 5 jam pada suhu 70^oC diperoleh hanya dua puncak nyata, berturut-turut pada 31,73 dan 36,29 yang besesuaian dengan bidang difraksi (111) dan (101). Tidak tampak puncak difraksi dari bidang difraksi (002). Berbeda dengan pola difraksi sampel film ZnO yang dideposisi selama 7 jam, dimana puncak difraksi dari bidang (002) muncul pada sudut (θ) 34,45. Puncak bidang difraksi (100) dan (101) juga muncul dengan jelas, masing-masing pada 31,81 dan 36,21, bahkan puncak lain juga muncul yaitu bidang difraksi (100) pada sudut 56,53. Namun demikian, kedua sampel disimpulkan memiliki struktur *wurtzite* heksagonal.



Gambar 1 Pola XRD film ZnO yang dideposisi selama 5 jam



Gambar 2 Pola XRD film ZnO yang dideposisi selam 7 jam

Parameter kisi sampel film ZnO yang diperoleh dari perhitungan dengan metode Cohen, relatif sama, yaitu *a* adalah 3,25 Å dan *c* adalah 5,20 Å. Nilai parameter yang diperoleh mirip dengan hasil-hasil yang diperoleh oleh peneliti-peneliti terdahulu yaitu *a* adalah 3, 25 Å dan *c* adalah 5,21 Å [2].

Berdasarkan pelebaran puncak difraksi, dapat ditentukan ukuran kristal film ZnO dari nilai FWHM (full width at half maximum) masing-masing puncak difraksi dengan menggunakan persamaan Scherrer, yaitu

$$\sigma = \frac{0.9\lambda}{B.\cos\theta} \quad (1)$$

dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X (sumber Cu), σ adalah ukuran kristal, θ adalah sudut difraksi dan B adalah nilai FWHM setiap puncak. Hasil perhitungan ukuran kristal untuk film ZnO yang deposisi selama 5 jam adalah sekitar 11,50 nm, dan untuk film ZnO yang dideposisi 7 jam adalah 11,30 nm.

3.2 Sifat Optik Film ZnO

Sifat optik film ZnO diuji menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui karakteristik transmitansi dan absorbansi dalam rentang spektrum UV-Vis. Dari karakteristik absorbansi dan transmitansi dapat ditentukan sifat optik lain, yaitu indeks bias dan nilai energi celah pita optik. Gambar 3 memperlihatkan spektra absorbansi, transmitansi, reflektansi dan indeks bias film ZnO dengan waktu deposisi berbeda. Gambar 3a memperlihatkan bahwa film ZnO memiliki pita absorpsi pada daerah ultra-violet (UV), sedangkan Gambar 3b memperlihatkan film ZnO mentransmisikan seluruh spektrum tampak dan sedikit spektrum UV. Tepi pita absorpsi (absorption edge) berada di daerah UV, yaitu sekitar panjang gelombang 380 nm yang mengindikasikan film-film ZnO memiliki celah pita energi yang lebar.

Absorbansi, transmitansi dan reflektansi film-film ZnO berubah signifikan terhadap lama waktu deposisi. Semakin lama waktu deposisi, absorbansi dan reflektansi meningkat, sebaliknya transmitansinya menurun, hal ini terjadi karena ketebalan film meningkat seiring kenaikan lama waktu deposisi. Misalnya, absorpsi maksimum pada 360 nm hanya sedikit di atas 0,2 (a.u) untuk film yang dideposisi dalam waktu 3 jam, dan berubah drastis menjadi 1,1 (a.u) untuk film yang dideposisi dalam waktu 5 dan 7 jam. Perubahan nilai absorbansi dan transmitansi juga siginifikan pada daerah tampak.

Ketebalan film-film ZnO yang terdeposisi pada substrat kaca diukur menggunakan alat ukur ketebalan film *merk Tecloc* yang memiliki ketelitian 0.01 mm. Hasil pengukuran ini diperoleh bahwa ketebalan ketiga film masing-masing adalah 1,8 μm untuk film yang dideposisi selama 3 jam; 2,7 μm untuk film yang dideposisi selama 5 jam; dan 4,4 μm untuk film yang dideposisi selama 7 jam.

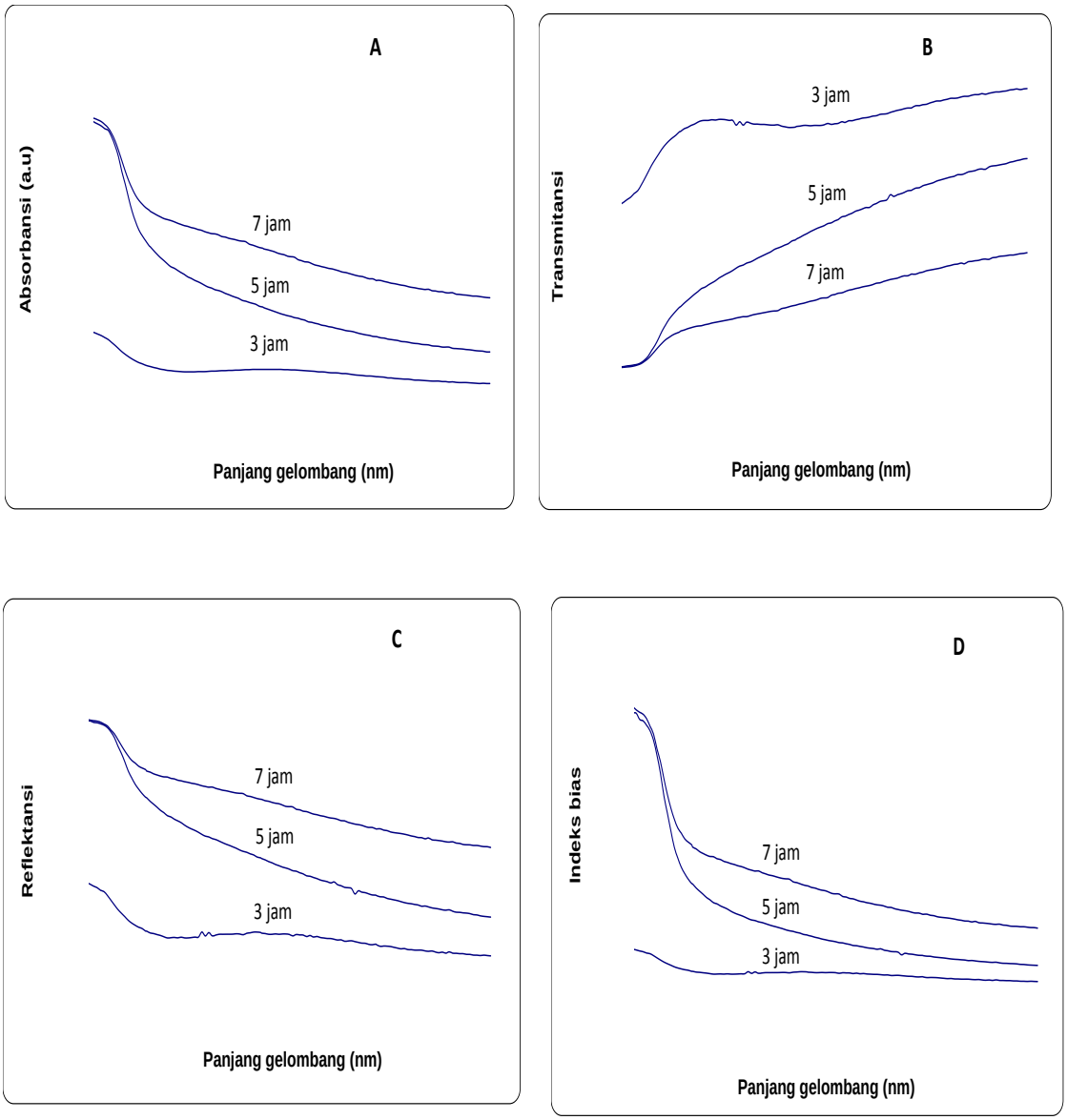
Parameter optik lain film-film ZnO yang ditentukan adalah indeks bias yang terkait langsung dengan absorbansi, transmitansi dan reflektansi film. Indeks bias dihitung menggunakan hubungan

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \tag{2}$$

dimana *R* adalah reflektansi dan *n* adalah indeks bias film. Dalam hal ini, cahaya datang tegak lurus terhadap permukaan film. Reflektansi dihitung dari hubungan

$$A = 2.303 \log \left[\frac{(1-R)}{T} \right] \tag{3}$$

dimana *A* adalah absrobansi dan *T* adalah transmitansi, keduanya diperoleh dari hasil pengukuran dengan spektrofotometer seperti ditunjukkan pada Gambar 3a dan 3b. Gambar 3c memperlihatkan spektra reflektansi film-film ZnO yang berkebalikan dengan spektra transmitansi, yaitu film-film ZnO merepleksikan spektrum UV.



Gambar 3 Kurva (A) absorbansi, (B) transmitansi, (C) reflektansi dan (D) indeks bias film-film ZnO dengan waktu deposisi berbeda: 3 jam, 5 jam, dan 7 jam.

Dengan menggunakan persamaan (2) dan (3), nilai indeks bias dihitung terhadap panjang gelombang, hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3d. Tampak bahwa film-film memiliki nilai indeks bias lebih besar pada daerah pita absorpsi yaitu pada daerah UV,

dibandingkan di daerah transmsisinya yaitu pada daerah tampak. Hal ini bersesuaian dengan sifat optik bahan yaitu absorpsi dan transmisi bahan bergantung nilai indeks bias pada suatu rentang panjang gelombang atau frekuensi spesifik. Tampak juga bahwa nilai indeks bias film berubah terhadap waktu deposisi, semakin lama waktu deposisi semakin besar nilai indeks biasnya, hal ini karena film semakin padat (rapat) seiring bertambahnya waktu deposisi.

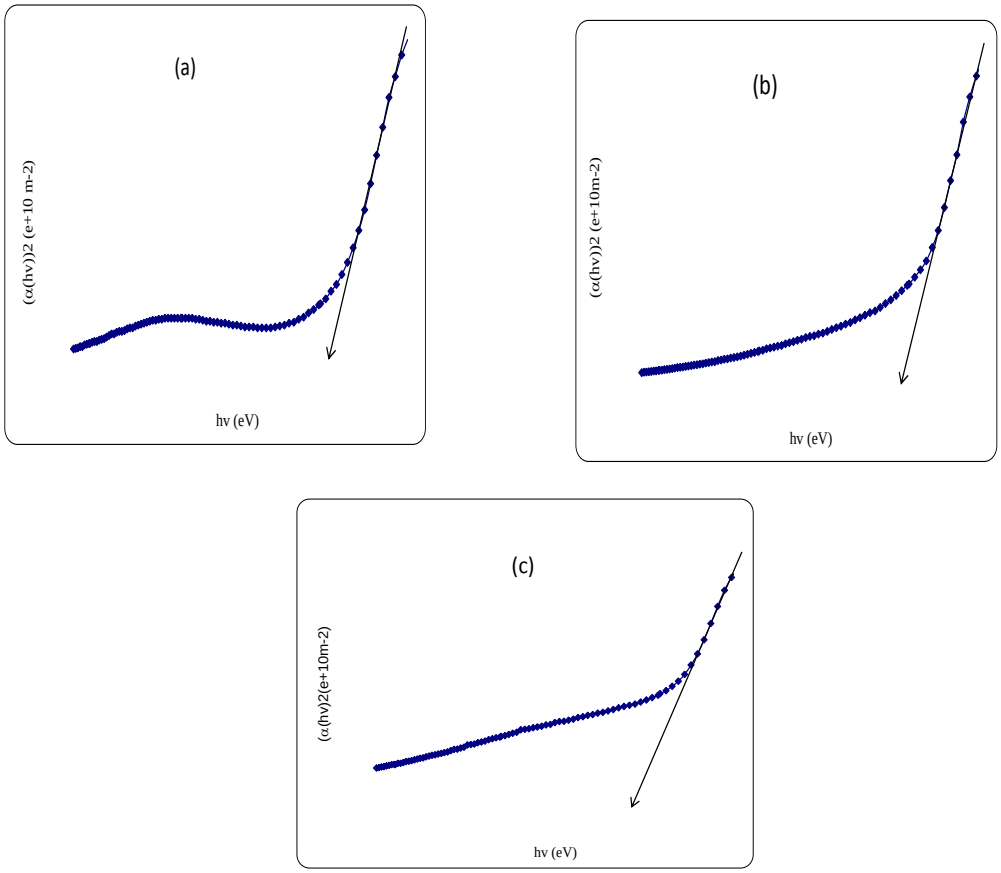
Absorpsi foton cahaya oleh bahan semikonduktor menyebabkan terjadinya pembangkitan elektron dari pita valensi menuju pita konduksi di dalam semikonduktor. Untuk menggambarkan proses absorpsi foton yang diikuti generasi atau eksitasi elektron dapat dijelaskan melalui hubungan

$$\alpha(h\upsilon) = C(h\upsilon - E_g)^m \tag{4}$$

dimana α adalah kofisien absorpsi bahan yang diperoleh dari nilai absorbansi film pada setiap panjang gelombang, h adalah konstanta Planck, υ adalah frekuensi foton datang, C adalah sebuah konstanta dan E_g adalah nilai energi celah pita optik. Sedangkan m adalah sebuah faktor yang bergantung pada struktur pita energi bahan semikonduktor yaitu pita langsung atau tak langsung, untuk pita langsung m berharga ½ dan untuk pita tak langsung m berharga 2. ZnO merupakan semikonduktor dengan struktur pita transisi langsung (m = ½), sehingga persamaan (3) dapat ditulis

$$(\alpha(h\upsilon))^2 = C(h\upsilon - E_g) \tag{5}$$

Untuk menentukan nilai E_g film-film ZnO, maka dibuat plot kurva antara $(\alpha(h\upsilon))^2$ sebagai sumbu-y terhadap $h\upsilon$ sebagai sumbu-x. Kurva yang dihasilkan (Gambar 4) memperlihatkan dua bagian, yaitu bagian datar dan bagian miring (slope), bagian datar menyatakan tidak ada absorpsi sedangkan bagian miring menyatakan terjadi absorpsi foton. Nilai energi celah pita optik (E_g) dapat diperoleh dengan membuat garis lurus pada bagian miring, perpotongan kurva miring ini pada sumbu $h\upsilon$ merupakan nilai energi celah pita optik film ZnO.



Gambar 4 Plot E_g film ZnO yang dideposisi selama (a) 3 jam, (b) 5 jam dan (c) 7 jam

Berdasarkan kurva-kurva pada Gambar 4, diperoleh nilai energi celah pita optik film-film ZnO berturut-turut adalah 3,15 eV untuk film yang dideposisi selama 3 jam; 3,10 eV untuk film yang dideposisi selam 5 jam; dan 3,00 eV untuk film ZnO yang dideposisi selama 7 jam. Tampak bahwa nilai energi celah pita optik film ZnO sedikit menurun seiring lama waktu deposisi. Nilai energi celah pita ZnO yang dihasilkan dalam penelitian ini sedikit lebih kecil dibandingkan hasil-hasil penelitian terdahulu [3-6,15].

4 KESIMPULAN

Penumbuhan film-film nanokristal ZnO telah dilakukan dengan metode *chemical bath deposition* (CBD). Hasil analisis XRD menunjukkan film ZnO memiliki struktur

heksagonal dengan tipe *wurtzite*. Diameter kristal diperoleh sebesar 11,50 nm untuk sampel film ZnO yang dideposisi selam 5 jam dan 11,30 nm untuk sampel film ZnO yang dideposisi selama 7 jam. Hasil uji sifat optik menunjukkan film-film ZnO dengan kuat mentransmisikan spektrum tampak (visible) dan menyerap spektrum ultra-violet (UV), yaitu dalam rentang 300 – 400 nm. Indeks bias film ZnO meningkat seiring lama waktu deposisi. Sedangan hasil perhitungan nilai celah energi untuk sampel film ZnO yang dideposisi selama 3 jam adalah 3,15 eV; film yang dideposisi selama 5 jam adalah 3,10 eV; dan sampel film ZnO yang dideposisi selama 7 jam adalah 3,00 eV.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Issa Yavari, Ali R. Mahjoub, Elaheh Kowsari, Maryam Movahedi, 2009. Synthesis of ZnO nanostructures with controlled morphology and size in ionic liquids. J Nanopart Res (2009) 11:861–868

[2] Monika Gupta, Vidhika Sharma, Jaya Shristava, Anjana Solanki, A P Singh, V R Satsangi, S Dass and Rohit Shrivastav, 2009. Preparation and characterization of nanostructured ZnO thin films for photoelectrochemical splitting of water. Bull. Mater. Sci., Vol. 32, No. 1, February 2009, pp. 23–30

[3] Y.-F. Gao, M. Nagai, Y. Masuda, F. Sato, K. Koumoto, 2006. Electrochemical deposition of ZnO film and its photoluminescence properties. Journal of Crystal Growth 286 (2006) 445–450

[4] A.E. Rakhshani, 2005. Thin ZnO films prepared by chemical solution deposition on glass and flexible conducting substrate. Appl. Phys. A 81, 1497–1502 (2005)

[5] G. Srinivasan, and J. Kumar, 2006. Optical and structural characterisation of zinc oxide thin films prepared by sol-gel process. Cryst. Res. Technol. 41, No. 9, 893 – 896 (2006)

[6] Saliha Ilican, Yasemin Caglar, Mujdat Caglar, Fahrettin Yakuphanoglu, 2006. Electrical conductivity, optical and structural properties of indium-doped ZnO nanofiber thin film deposited by spray pyrolysis method. Physica E 35 (2006) 131–138

[7] O Akhavan, M Mehrabian, K Mirabbaszadeh and R Azimirad, 2009. Hydrothermal synthesis of ZnO nanorod arrays for photocatalytic inactivation of Bacteria. J. Phys. D: Appl. Phys. 42 (2009)

[8] P. Kathirvel, D. Manoharan, S.M. Mohan, S. Kumar, 2009. Spectral Investigations of Chemical Bath Deposited Zinc Oxide Thin Films – Ammonia Gas Sensor. Journal of Optoelectronic and Biomedical Materials Volume 1, Issue 1, p. 25-33

[9] Periyayya Uthirakumar, Hyung Gu Kim, Chang-Hee Hong, 2009. Zinc oxide nanostructures derived from a simple solution method for solar cells and LEDs. Chemical Engineering Journal 155 (2009) 910–915

[10] Honghui Guo, Jianzhang Zhou, Zhonghua Lin, 2008, ZnO nanorod light-emitting diodes fabricated by electrochemical approaches. Electrochemistry Communications 10 (2008) 146–150

[11] Yvonne Selk, Melanie Minnermann, Torsten Oekermann, Michael Wark, Jurgen Caro, 2011. Solid-state dye-sensitized ZnO solar cells prepared by low-temperature methods. J Appl Electrochem (2011) 41:445–452

[12] Jr Hau He, Shu Te Ho, Tai Bor Wu, Lih Juann Chen, Zhong Lin Wang. Electrical and photoelectrical performances of nano-photodiode based on ZnO nanowires. Chemical Physics Letters 435 (2007) 119–122

[13] K. Ramamoorthy, K. Kumara, R. Chandramohan, K. Sankaranarayanan, 2006. Review on material properties of IZO thin films useful as epi-n-TCOs in opto-electronic (SIS solar cells, polymeric LEDs) devices. Materials Science and Engineering B 126 (2006) 1–15

[14] M.A.Mastro, J.A.FreitasJr., C.R.EddyJr., F.Kuba, J.Ahn, H.-Y.Kim, J.Kim, 2009. Luminescence characteristics of zinc oxide nanocrystals deposited on glass via a solution method. Physica E 41 (2009) 487–489

[15]. A. Kathalingam, N. Ambika, M. R. Kim, J. Elanchezhiyan, Y. S. Chae, J. K. Rhee, 2010. Chemical bath deposition and characterization of nanocrystalline ZnO thin films. Materials Science-Poland, Vol. 28, No. 2, 2010

PEMBUATAN DAN ANALISIS KUALITAS ARANG AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA DENGAN AKTIVASI UAP DAN KALIUM HIDROKSIDA

Rani Chahyani[1], Gustan Pari[2], Kiagus Dahlan[1]

[1]Divisi Biofisika, Departemen Fisika, Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Gedung Wing S, Bogor - 16680, Telp. 0251-8625728
[2]Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan Bogor,
Jl. Gunung Batu No. 5, Kotak Pos 182, Bogor - 16110
Email : rani_chahyani@yahoo.com

ABSTRAK

Arang aktif adalah arang yang konfigurasi atom karbonnya dibebaskan dari ikatan dengan unsur lain dan porinya dibersihkan dari senyawa lain, sehingga permukaan serta pusat aktifnya menjadi luas, dan daya adsorpsinya meningkat. Dalam penelitian ini, dilakukan pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa (*Cocos nucifera*), dengan aktivasi fisika dan kimia pada suhu 850 ^{o}C. Aktivasi fisika dilakukan dengan mengalirkan uap air (*steam*) selama 80 dan 110 menit, sedangkan perendaman arang pada larutan kalium hidroksida (KOH) konsentrasi 10%, dikerjakan sebagai proses aktivasi kimia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas seluruh arang aktif yang dihasilkan telah memenuhi standar nasional Indonesia (SNI) untuk arang aktif teknis, kecuali pada daya serap benzena. Kondisi arang aktif optimum diperoleh pada aktivasi uap dengan lama waktu aktivasi 110 menit, tanpa perendaman dalam larutan KOH. Hal ini didasarkan pada hasil uji kualitas arang aktif, yang menghasilkan rendemen 38%, kadar air 4.62%, kadar zat terbang 17.30%, kadar abu 3.23%, karbon terikat 79.47%, serta daya serap terhadap benzena sebesar 24.19%, kloroform 34.26%, dan iodin 973.52 mg/g. Besarnya daya serap iodin ini telah memenuhi standar kualitas arang aktif SNI, yang dipersyaratkan di atas 750 mg/g. Dari analisis SEM, terlihat adanya pembukaan pori pada permukaan tempurung kelapa setelah aktivasi. Sedangkan dari hasil uji konduktivitas listrik, nilai tertinggi diperoleh pada arang aktif yang diaktivasi uap selama 80 menit, tanpa perendaman KOH, yakni sebesar 15.135 S/m.

Kata kunci: arang aktif, tempurung kelapa, aktivasi uap, KOH, kualitas

1 PENDAHULUAN

Arang adalah suatu bahan padat berpori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung unsur karbon. Sebagian besar dari pori-porinya masih tertutup dengan hidrokarbon, ter, dan senyawa organik lain, dengan komponen yang terdiri dari karbon terikat, abu, air, nitrogen, dan sulfur [1]. Arang aktif merupakan arang yang konfigurasi atom karbonnya dibebaskan dari ikatan dengan unsur lain dan porinya dibersihkan dari senyawa

atau kotoran lain, sehingga permukaan dan pusat aktif menjadi luas, serta daya adsorpsinya terhadap cairan dan gas akan meningkat Arang aktif dapat dibuat dari semua bahan yang mengandung karbon, baik organik maupun anorganik, dengan syarat bahan tersebut memiliki struktur berpori [2].

Proses aktivasi arang menjadi arang aktif dapat dilakukan dengan beberapa cara, yang bertujuan untuk mengeluarkan kotoran pada permukaan arang. Pada prinsipnya, arang aktif dapat dibuat dengan dua cara, yaitu cara kimia dan fisika. Bahan kimia yang umum digunakan sebagai pengaktif antara lain H_3PO_4 [3-7], $ZnCl_2$, Na_2CO_3, NaOH [7], NH_4HCO_3 [8], dan KOH [9-10]. Pengaktifan secara fisika biasanya dilakukan dengan mengalirkan uap air [4-8,11], atau gas seperti CO_2 [7] dan N_2 [7,10].

Tempurung kelapa merupakan salah satu bahan organik yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan arang dan arang aktif. Bobot tempurung mencapai 12% dari bobot buah kelapa. Berdasarkan data statistik produksi pertanian, jumlah produksi kelapa nasional pada tahun 2009 mencapai 3 257 970 ton, dengan luas areal perkebunan kelapa 3 799 124 Ha, dan rata-rata produksi dari tahun 2000-2009 mencapai 3 153 735 ton per tahun [12]. Dengan demikian, dihasilkan lebih dari 370 ribu ton tempurung kelapa setiap tahunnya, yang sangat berpotensi untuk diolah menjadi arang maupun arang aktif, dengan nilai guna dan nilai ekonomi lebih tinggi.

Telah banyak industri dan peneliti yang mengolah tempurung kelapa ataupun biomassa lainnya menjadi arang aktif. Berbagai teknologi dan inovasi dilakukan dalam proses pembuatannya, agar diperoleh arang aktif dengan kualitas optimum. Dalam penelitian ini, dilakukan pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa yang diaktivasi secara kimia melalui perendaman arang pada kalium hidroksida, dan aktivasi fisika dengan aliran uap air (*steam*). Paduan variasi proses aktivasi dilakukan untuk mencari kondisi kualitas arang aktif optimum. Produk arang aktif yang dihasilkan kemudian diuji dan dikarakterisasi guna mengetahui kualitas dan potensi aplikasinya.

2 METODOLOGI

Bahan baku yang digunakan adalah limbah tempurung kelapa yang diperoleh dari beberapa kios sembako di Ciomas, Kota Bogor. Untuk pengarangan dan aktivasi arang, digunakan tungku pengarangan (retort pirolisis) dan retort aktivasi. Alat preparasi dan uji

sampel lainnya adalah gelas piala, gelas ukur, labu erlenmeyer, labu ukur, cawan petri, alat titrasi, kertas saring, desikator, tanur, dan mesin gerus arang. Karakterisasi arang aktif dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) JSM 6360 LA-20 kV dan LCR Meter Krisbow tipe KW06-489.

Tempurung kelapa dikarbonisasi pada retort pirolisis dengan pemanas listrik, pada suhu 500°C selama 4 jam, lalu didinginkan ± 24 jam. Arang kemudian diaktivasi menggunakan retort aktivasi yang terbuat dari bahan baja anti karat dan dililit dengan elemen (kawat nikelin) sebagai pemanas. Sebelum aktivasi, bahan baku dibagi menjadi dua perlakuan, yakni dengan perendaman dan tanpa perendaman dalam bahan kimia. Bahan kimia yang digunakan adalah kalium hidroksida (KOH) teknis, di mana arang direndam dalam KOH dengan konsentrasi 10% (b/b) selama 24 jam, lalu ditiriskan hingga kering pada suhu ruang. Masing-masing jenis arang selanjutnya diaktivasi pada suhu 850°C, dengan variasi waktu aliran uap air (*steam*) selama 80 dan 110 menit.

Sifat arang dan arang aktif kemudian dianalisis berdasarkan SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis [13], meliputi penetapan rendemen, kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, serta daya serap terhadap iodium, benzena, dan kloroform. Karakteristik yang diamati adalah morfologi permukaan dengan SEM, serta sifat konduktivitas listrik menggunakan LCR Meter. Analisis data menggunakan metode rancangan acak lengkap faktorial, yang dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil (BNT) pada taraf 5% [14].

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sifat Arang Aktif

Sifat arang aktif yang diamati adalah rendemen, kadar air, abu, zat terbang, dan karbon terikat (Tabel 1). Seluruh sifat arang aktif ini telah memenuhi SNI 1995 untuk arang aktif teknis. Rendemen arang aktif yang dihasilkan berkisar antara 38-68%. Rendemen terendah diperoleh pada arang aktif tanpa perendaman KOH yang diaktivasi uap selama 110 menit, sedangkan rendemen tertinggi dihasilkan pada jenis arang aktif yang sama (tanpa perendaman), dengan lama aktivasi 80 menit.

Dari Tabel 1 terlihat adanya penurunan nilai rendeman dengan semakin lamanya waktu pengaktifan. Rendahnya rendemen yang diperoleh diakibatkan karena senyawa karbon yang terbentuk dari hasil penguraian selulosa dan lignin mengalami reaksi pemurnian dengan uap air, dan menghilangkan senyawa non karbon yang melekat pada permukaan arang. Karena reaksi terjadi secara radikal, maka atom C yang terbentuk akan bereaksi kembali dengan atom O dan H membentuk CO, CO_2, CH_4 [4]. Sebagai akibatnya, rendemen yang dihasilkan cenderung turun dengan meningkatnya lama aktivasi, karena reaksi yang terjadi semakin intensif.

Tabel 1 Sifat arang dan arang aktif tempurung kelapa

Jenis	Perlakuan Kimia	Steam (menit)	Rendemen (%)	Kadar (%)			
				Air	Abu	Zat Terbang	Karbon
Arang	-	-	30.30	6.32	1.97	21.90	76.13
Arang Aktif	KOH 10%	80	57.00	6.61	5.86	18.75	75.40
	KOH 10%	110	55.00	5.72	5.60	15.94	78.46
	-	80	68.00	6.97	1.98	13.27	84.75
	-	110	38.00	4.62	3.23	17.30	79.47
SNI 06-3730-1995				<15	<10	<25	>65

Kadar air arang aktif berkisar antara 4.62-6.97% (Tabel 1). Tujuan dari penetapan kadar air adalah untuk mengetahui sifat higroskopis arang aktif. Besarnya kadar air dipengaruhi oleh penyerapan uap air di udara oleh arang aktif pada saat proses pendinginan, dan juga karena adanya butir-butir air dari uap air panas pada saat aktivasi, yang terperangkap di dalam struktur arang aktif yang berbentuk heksagonal [6]. Sampel arang aktif diharapkan tidak memiliki nilai kadar air tinggi, karena dapat mengurangi kemampuannya sebagai adsorben, akibat pori yang terisi air. Arang aktif tanpa perendaman KOH dengan aktivasi 110 menit memiliki nilai kadar air terendah.

Kadar abu yang dihasilkan berkisar antara 1.98%-5.86%. Penetapan kadar abu bertujuan untuk megetahui kandungan oksida logam dalam arang aktif. Adanya abu pada permukaan arang aktif dapat menurunkan daya serapnya karena bisa menutupi pori-pori arang aktif. Dengan demikian, kadar abu pada arang aktif diusahakan sekecil mungkin, dan dalam penelitian ini diperoleh pada arang aktif tanpa perendaman KOH dengan lama aktivasi 80 menit. Nilai kadar abu pada penelitian ini bersifat fluktuatif dan nilainya berbeda nyata

untuk kedua perlakuan dan interaksinya (Tabel 3). Namun dari uji lanjut BNT (Tabel 4), tidak terlihat adanya perbedaan nyata untuk perlakuan lama aktivasi.

Untuk berbagai kondisi aktivasi, nilai kadar zat terbang yang diperoleh berkisar antara 13.27-18.75%, dan telah memenuhi SNI 1995. Besarnya kadar zat terbang ini dapat disebabkan oleh tingginya berat jenis dari bahan baku tempurung kelapa yang digunakan, sehingga lebih banyak gas seperti CO, CO_2 dan CH_4 yang dikeluarkan pada saat karbonisasi [6]. Penentuan kadar zat terbang bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa yang belum menguap pada saat karbonisasi dan aktivasi, sehingga dapat diketahui besarnya kandungan zat selain karbon pada permukaan arang aktif. Perlakuan kimia dan lama aktivasi pada penelitian ini ternyata tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar zat terbang, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Kadar karbon arang pada Tabel 1 memperlihatkan nilai yang cukup tinggi yaitu 76.13%. Nilai ini menunjukkan potensi arang yang baik untuk dijadikan arang aktif. Kadar karbon terikat untuk arang aktif cenderung lebih tinggi, dan menunjukkan tingkat kemurnian karbon lebih baik dari arangnya. Ini terjadi karena setelah tahap aktivasi, senyawa lain selain karbon telah banyak yang hilang akibat proses aktivasi. Kadar karbon terbesar didapatkan pada arang aktif tanpa perendaman KOH dengan aktivasi 80 menit, yakni 84.75%. Dari sidik ragam sifat arang aktif pada Tabel 3, terlihat bahwa hanya perlakuan kimia yang memberi pengaruh nyata terhadap perbedaan kadar karbon. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [11], yang memperoleh kadar karbon arang aktif tempurung kelapa 77.99%, kadar karbon optimum yang dihasilkan pada penelitian ini lebih tinggi.

3.2 Daya serap arang aktif

Pada penelitian ini dilakukan pengujian daya serap arang aktif terhadap benzena, kloroform dan iod (Tabel 2). Benzena digunakan untuk menguji kemampuan arang aktif dalam menyerap gas, karena molekulnya berukuran kecil dan mudah menguap pada suhu ruangan [4]. Daya serap benzena berkisar antara 17.97-24.19%. Nilai ini belum memenuhi SNI 1995 yang mempersyaratkan daya serap benzena lebih dari 25%.

Tabel 2 Daya serap arang dan arang aktif tempurung kelapa

Jenis	Perlakuan Kimia	Steam (menit)	Daya serap		
			Benzena (%)	Kloroform (%)	Iod (mg/g)
Arang	-	-	8.77	11.90	301.57
Arang Aktif	KOH 10%	80	18.30	22.69	697.02
	KOH 10%	110	17.97	23.69	687.38
	-	80	19.87	28.94	880.28
	-	110	24.19	34.26	973.52
SNI 06-3730-1995			> 25	-	> 750

Tabel 3 Sidik ragam sifat dan daya serap arang aktif

Sumber Keragaman	Kuadrat tengah	F hitung	P
Kadar Air			
- Perlakuan kimia	0.2788	1.90	0.240
- Waktu aktivasi	5.2339	35.75	0.004**
- Perlakuan*Waktu	1.0613	7.25	0.055
Kadar Abu			
- Perlakuan kimia	19.4863	637.32	0.000**
- Waktu aktivasi	0.4896	16.01	0.016*
- Perlakuan*Waktu	1.1442	37.42	0.004**
Kadar Zat Terbang			
- Perlakuan kimia	8.492	1.58	0.277
- Waktu aktivasi	0.755	0.14	0.727
- Perlakuan*Waktu	23.336	4.35	0.105
Karbon terikat			
- Perlakuan kimia	53.705	9.39	0.038*
- Waktu aktivasi	2.461	0.43	0.548
- Perlakuan*Waktu	34.815	6.09	0.069
Daya serap benzena			
- Perlakuan kimia	30.416	53.16	0.002**
- Waktu aktivasi	7.944	13.88	0.020*
- Perlakuan*Waktu	10.833	18.93	0.012*
Daya serap Kloroform			
- Perlakuan kimia	141.451	122.89	0.000**
- Waktu aktivasi	19.981	17.36	0.014*
- Perlakuan*Waktu	9.327	8.10	0.047*
Daya serap Iod			
- Perlakuan kimia	110167	394.74	0.000**
- Waktu aktivasi	3494	12.52	0.024*
- Perlakuan*Waktu	5292	18.96	0.012*

Daya serap kloroform dapat menunjukkan sifat kepolaran arang aktif karena kloroform bersifat polar. Kisaran nilai daya serap kloroform adalah antara 22.69-34.26%. Nilai optimum diperoleh untuk aktivasi uap 110 menit. Sedangkan untuk daya serap terhadap iod, diperoleh kisaran nilai 687.38 hingga 973.52 mg/g. Kedua jenis arang aktif dengan perendaman KOH 10% ternyata belum memenuhi SNI 1995 untuk arang aktif teknis, karena nilainya masih di bawah 750 mg/g. Sedangkan arang aktif yang hanya diaktifasi uap selama 80 menit dan 110 menit telah memenuhi standar yang ditetapkan.

Tabel 4 Uji Beda nyata terkecil (BNT) sifat dan daya serap arang aktif

Sifat	Nilai tengah perlakuan				BNT
Kadar air	W80 6.7908	A	W110 5.1731	B	1.3864
Kadar abu	KOH 5.7266	A	Blanko 2.6052	B	1.3245
	W80 3.919	A	W110 4.413	A	4.5517
Karbon terikat	KOH 76.928	A	Blanko 82.11	A	7.7381
Daya serap benzena	KOH 18.133	A	Blanko 22.032	A	4.5845
	W80 19.086	A	W110 21.079	A	6.5933
Daya serap kloroform	KOH 23.192	A	Blanko 31.602	B	5.8165
	W80 25.816	A	W110 28.977	A	12.4533
Daya serap iod	KOH 692.2	A	Blanko 926.9	B	99.3976
	W80 788.7	A	W110 830.4	A	341.0823

Ket :

1. Huruf yang sama pada satu baris tidak berbeda nyata pada taraf 5%
2. Perlakuan kimia : KOH = dengan perendaman; Blanko = tanpa perendaman
3. Lama aktivasi : W80 = steam 80 menit; W110 = steam 110 menit

Berdasarkan data pada Tabel 2, kondisi optimum diperoleh pada arang aktif tempurung kelapa tanpa perendaman KOH, dengan lama aktivasi 110 menit. Hal ini terlihat

dari nilai daya serapnya yang paling tinggi terhadap ketiga jenis zat yang diujikan. Paduan aktivasi uap dan perendaman kimia dalam penelitian ini bertujuan untuk lebih meningkatkan kualitas arang aktif, namun hasil yang diperoleh ternyata tidak begitu optimum. Aktivator kimia yang diharapkan dapat bereaksi dengan permukaan arang dalam membuka pori pada saat aktivasi dengan suhu tinggi, justru menghambat pembukaan pori arang, karena tingginya konsentrasi KOH yang digunakan. Hal ini bersesuaian dengan beberapa penelitian sebelumnya, yang melakukan paduan aktivasi fisika-kimia untuk arang aktif dari tempurung kemiri [4] dan kayu *Acacia mangium* [5]. Kondisi optimum diperoleh pada lama aktivasi uap 90 menit, tanpa perendaman kimia dengan H_3PO_4 [5], dan konsentrasi H_3PO_4 yang cukup tinggi yaitu pada 7.5 %, justru menurunkan daya serapnya terhadap iod [4].

Hasil analisis sidik ragam daya serap arang aktif pada Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh perlakuan yang diberikan beserta interaksinya, memberi pengaruh yang signifikan pada kemampuan daya serap arang aktif, baik terhadap benzena, kloroform, maupun iod. Namun dari hasil uji lanjut BNT pada Tabel 4, pembedaan lama aktivasi 80 menit dan 110 menit, tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata. Jika bertolak pada sifat arang aktif dan kemampuan daya serapnya sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 2 dan Tabel 3, terlihat bahwa adanya perlakuan kimia sangat berpengaruh terhadap kualitas arang aktif, sedangkan pembedaan waktu tidak menghasilkan nilai yang jauh berbeda.

3.3 Konduktivitas arang aktif

Konduktivitas merupakan ukuran ilmiah tentang kemampuan material dalam mengalirkan arus listrik yang melaluinya. Konduktivitas merupakan kebalikan dari resistivitas atau sifat tahanan jenis bahan. Konduktivitas dirumuskan sebagai [15]:

$$\sigma = \frac{1}{R}\left(\frac{L}{A}\right)$$

Dengan R adalah resistansi (Ω), A merupakan luas penampang bahan (m^2) dan L adalah panjang perjalanan arus listrik yang terjadi dalam bahan (m). Satuan konduktivitas adalah $\Omega^{-1}m^{-1}$ atau Siemens/m.

Tabel 5 Konduktivitas listrik arang dan arang aktif

Jenis	Perlakuan Kimia	Steam (menit)	Resistivitas (Ωm)	Konduktivitas (S/m)
Arang	-	-	140.096	0.00715
Arang Aktif	KOH 10%	80	0.135	7.462
	KOH 10%	110	0.086	11.853
	-	80	0.066	15.135
	-	110	0.071	14.068

Perbandingan konduktivitas listrik sampel arang dan arang aktif ditampilkan pada Tabel 5. Arang tempurung kelapa memiliki nilai konduktivitas yang sangat kecil dibanding arang aktifnya, yakni 0.007 S/m. Sedangkan nilai konduktivitas arang aktif berada pada rentang nilai 7.462-15.153 S/m, dan resistivitas 0.066-0.135 Ωm. Pada temperatur kamar, tahanan konduktor yang baik adalah sekitar 10^{-8} Ωm, sedangkan tahanan semikonduktor berkisar dari 10^{-5} sampai 10^{4} Ωm [16]. Berdasarkan nilai resistivitasnya, maka arang dan arang aktif yang dihasilkan termasuk dalam jenis bahan semikonduktor.

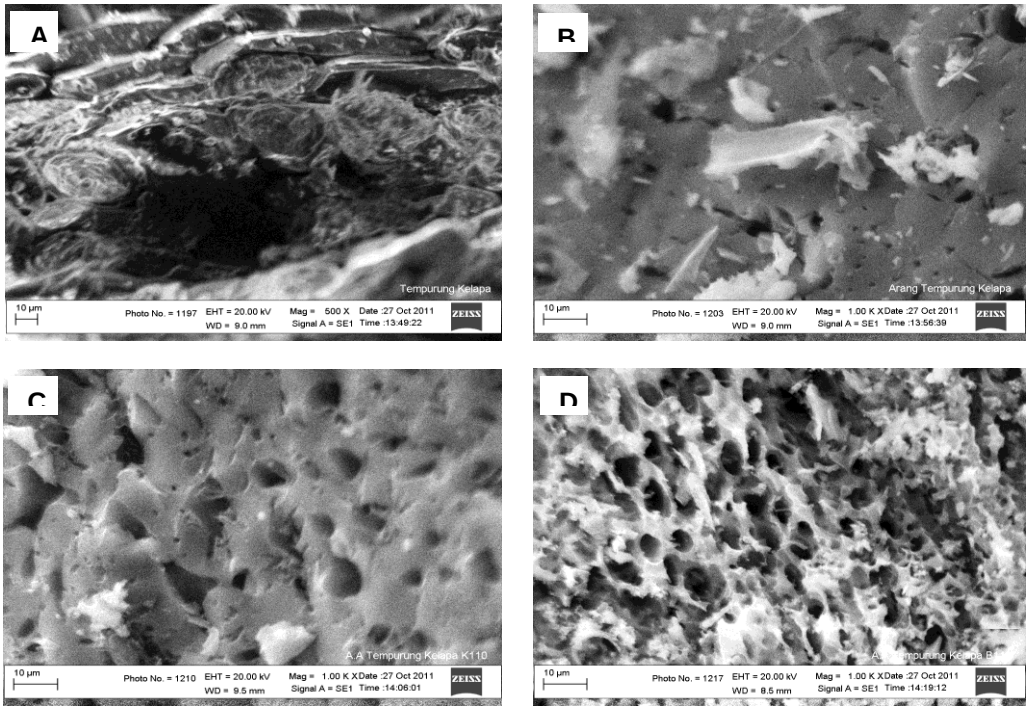
Semikonduktor adalah atom yang berisi empat elektron valensi. Karena jumlah elektron valensi semikonduktor berada di antara konduktor (satu) dan isolator (delapan), maka atom semikonduktor bukan konduktor ataupun isolator yang baik. Karbon adalah salah satu bahan semikonduktor yang banyak digunakan, terutama untuk membuat resistor dan potensiometer [17]. Dari keseluruhan sampel arang aktif, konduktivitas tertinggi diperoleh pada arang aktif tempurung kelapa tanpa perendaman KOH, dengan lama aktivasi uap 80 menit. Sesuai dengan kadar karbon terikatnya (Tabel 1), arang aktif ini juga memiliki kadar karbon tertinggi dibanding sampel lainnya. Ini berarti jumlah senyawa non karbon yang dikandungnya lebih sedikit, karena permukaan arang aktif dan pori-porinya tidak begitu banyak tertutup oleh senyawa atau kotoran lain. Dengan demikian, penghantaran listrik dapat lebih mudah terjadi dan meningkatkan nilai konduktivitas listriknya. Berdasarkan hasil tersebut, arang dan arang aktif tempurung kelapa pada penelitian ini memiliki potensi tidak hanya sebagai adsorben, namun juga dapat diaplikasikan pada bidang industri elektronik.

3.4 Morfologi arang aktif

Analisis dengan SEM bertujuan untuk mengetahui proses pembentukan pori akibat karbonisasi dan proses aktivasi. Dari Gambar 1A terlihat bahwa pada permukaan tempurung

kelapa yang belum dikarbonisasi, belum menunjukkan adanya pori, karena permukaan tempurung masih tertutup oleh senyawa hidrokarbon. Setelah mengalami proses pengarangan dengan suhu 500°C, terlihat mulai terbentuk mikropori dan beberapa makropori yang mencapai diameter 5.6 μm (Gambar 1B). Komponen holoselulosa dan lignin pada tempurung mulai terdegradasi akibat pemanasan, yang menghasilkan produk gas (antara lain CO_2, H_2, CO, CH_4, dan benzena), produk cair (hidrokarbon, tar, dan air), serta produk padatan berupa arang [18].

Proses aktivasi hingga suhu 850°C, dengan menggunakan bahan pengaktif KOH 10% serta pengaliran uap air selama 80 menit dan 110 menit, ternyata mampu membuka pori arang lebih banyak.. Diameter pori arang aktif dengan perendaman KOH dan aktivasi uap selama 110 menit (Gambar 1C) mencapai 9.05 μm. Sedangkan arang aktif tanpa perendaman dan aktivasi uap 110 menit (Gambar 1D), memiliki diameter sekitar 5.03 μm, dengan jumlah pori yang jauh lebih banyak. Dengan semakin banyaknya pori yang terbuka, kemampuan daya serap arang aktif jauh meningkat dibanding daya serap arang, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 1 Struktur permukaan (A) tempurung kelapa, (B) arang tempurung, (C) arang aktif (KOH + uap 110'), dan (D) arang aktif (uap 110').

Berdasarkan diameter pori yang terbentuk, arang aktif yang dihasilkan pada penelitian ini tergolong dalam struktur makropori, karena secara keseluruhan memiliki diameter pori di atas 0.025 μm.

4 KESIMPULAN

Proses pembuatan arang aktif tempurung kelapa berhasil dilakukan dengan baik, di mana hasil uji kualitas yang diperoleh untuk seluruh arang aktif, telah memenuhi SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis, kecuali untuk daya serap benzena dan sebagian daya serap iod. Berdasarkan daya serapnya, untuk arang aktif dengan kualitas optimum sebagai adsorben, diperoleh pada arang aktif tanpa perendaman KOH, dengan lama aktivasi uap 110 menit. Nilai konduktivitas tertinggi diperoleh pada arang aktif tanpa perendaman KOH, dan lama aktivasi uap 80 menit. Nilai resistivitas arang dan arang aktif yang dihasilkan tergolong ke dalam bahan semikonduktor, sehingga berpotensi untuk diaplikasikan dalam bidang industri elektronik. Hasil analisis morfologi arang aktif dengan SEM memperlihatkan adanya pembukaan pori pada permukaan tempurung kelapa setelah pengarangan dan proses aktivasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. Djatmiko, S. Ketaren, dan Sri Setyahartini, 1985. Pengolahan arang dan kegunaannya. Agro Industri Press, IPB. Bogor.

[2] R. Sudradjat dan Salim Soleh, 1994. Petunjuk teknis pembuatan arang aktif. Pusat Litbang Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan, Bogor.

[3] R.R. Bansode, J.N. Losso, W.E. Marshall, R.M. Rao, and R.J. Portier, 2003. Adsorption of volatile organic compound by pecan shell and almond shell-based geanular activated carbons. Bioresource Technology 90(2): 175-184.

[4] Djeni Hendra dan Saptadi Darmawan, 2007. Sifat arang aktif dari tempurung kemiri. Jurnal Penelitian Hasil Hutan, Vol. 25, No. 4, Agustus 2007: 291-302.

[5] Gustan Pari, Djeni Hendra, dan Ridwan A. Pasaribu, 2006. Pengaruh lama waktu aktivasi dan konsentrasi asam fosfat terhadap mutu arang aktif kulit kayu *Acacia mangium.* Jurnal Penelitian Hasil Hutan, Vol. 24, No.1, Februari 2006: 33-46.

[6] Gustan Pari, 1996. Kualitas arang aktif dari 5 jenis kayu. Buletin Penelitian Hasil Hutan, Vol. 14, No.2 (1996): 60-68.

[7] Hartoyo dan Gustan Pari, 1993. Peningkatan rendemen dan daya serap arang aktif dengan cara kimia dosis rendah dan gasifikasi. Jurnal Penelitian Hasil Hutan, Vol. 11, No. 5 (1993): 205-208.

[8] Gustan Pari, Buchari, dan Aminudin Sulaeman, 1996. Pembuatan dan kualitas arang aktif dari kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) sebagai bahan adsorben. Buletin Penelitian Hasil Hutan, Vol. 14, No. 7 (1996): 274-289.

[9] Jia Guo, Ye Luo, Aik Chong Lua, Ru-an Chi, Yan-lin Chen, Xiu-ting Bao, and Shou-xin Siang, 2007. Adsorption of hydrogen sulphide (H_2S) by activated carbons derived from oil-palm shell. Carbon, Vol. 45, Issue 2, February 2007: 330-336.

[10] A. Garcia, A. Gregorio, D. Boavida, and I. Gulyutlu, 2003. Preparation and characterization of activated carbons from pine wastes gasified in a pilot reactor. National Institute of Engineering and Industrial Technology, Lisbon, Portugal.

[11] Hartoyo, Nurmala Hudaya, dan Fadli, 1990. Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dan kayu bakau dengan cara aktivasi uap. Jurnal Penelitian Hasil Hutan, Vol.8, No. 1 (1990): 8-16.

[12] Departemen Pertanian, 2011. Basis data statistik pertanian, subsektor perkebunan. http://aplikasi.deptan.go.id/bdsp/hasil_kom.asp. Diakses 23 Oktober 2011.

[13] Standar Nasional Indonesia (SNI), 1995. Arang aktif teknis. SNI 06-3730-1995. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

[14] Ahmad A. Mattjik dan I.M. Sumertajaya, 2006. Perancangan percobaan dengan aplikasi SAS dan Minitab. IPB Press, Bogor.

[15] P. Purwanto, S. Purnama, S. Purwanto, dan T. Madesa, 2007. Pengaruh CUI terhadap sifat konduktor ionik padat $(CUI)_x(AGI)_{1-x}$ (x=0.6-0.9). Jurnal Sains dan Teknologi EMAS, 17:3.

[16] D. Chattopadhyay, P.C. Rakshit, B. Saha, dan N.N. Purkait,1989. Dasar elektronika. Penerjemah: Sutanto. UI-Press, Jakarta. Terjemahan dari: Foundations of Electronic

[17] Thomas S. Widodo, 2002. Elektronika dasar. Penerbit Salemba Teknika, Jakarta.

[18] R.Z. Vigouroux, 2001. Pyrolisis of biomass. Dissertation. Royal Institute of Technology. Stockholm.

SINTESIS *β-TRICALCIUM PHOSPHATE* DARI CANGKANG TELUR AYAM DI UDARA TERBUKA DENGAN VARIASI WAKTU *SINTERING*

I. Aisyah, **S. U. Dewi, K. Dahlan**
Departemen Fisika, FMIPA-Institut Pertanian Bogor
ida_aiefis44@yahoo.com

ABSTRAK

β-tricalcium phosphate (*β*-TCP) merupakan salah satu biomaterial yang banyak digunakan untuk *implantasi* tulang karena memiliki tingkat biodegradasi yang sesuai dengan laju pertumbuhan tulang, mudah larut dan *osteoconductive*. *β-tricalcium phosphate* adalah kombinasi dari kalsium dan senyawa fosfat dengan rumus kimia $Ca_3(PO4)_{2..}$ Pada penelitian ini telah disintesis *β-tricalcium phosphate* dengan mereaksikan kalsium oksida (CaO) dan asam fosfat (H_3PO_4) menggunakan metode presipitasi di udara terbuka yang bertujuan untuk mendapatkan karbon dioksida (CO_2) dari udara. Kalsium oksida (CaO) yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari cangkang telur ayam yang telah dikalsinasi pada suhu 1000°C selama 5 jam. Hasil yang didapat dikarakterisasi menggunakan metoda *x-ray diffraction*, *atomic absorbtion spectroscopi*, spektroskopi UV-Vis dan *fourier transform infrared*. Hasil sintesis dengan waktu *sintering* 2 jam menghasilkan senyawa okta kalsium fosfat. Fase β-TCP dominan terbentuk pada sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam dan 9 jam, tetapi β-TCP 86,79% terbentuk pada sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam dengan nilai efisiensi 79,35% dan derajat kristalinitas 91,18 %. Sintesis β-TCP di udara terbuka ini optimum terbentuk pada waktu *sintering* 7 jam dan karbon dioksida udara terbuka berpengaruh positif pada sintesis β-TCP

Kata kunci : *β-tricalcium phosphate, sintering, x-ray diffraction*, kalsinasi, presipitasi.

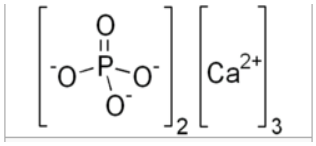
1 PENDAHULUAN

Manusia terkadang mengalami berbagai kecelakaan kerja, kecelakaan lalu lintas, dan berbagai kecelakaan lainnya yang dapat menimbulkan luka maupun hilangnya beberapa serpihan tulang bahkan mengalami patah tulang. Jika kerusakan pada tulang baik itu kehilangan serpihan tulang maupun patah tulang dibiarkan akan menghambat aktivitas kehidupan manusia sehingga dibutuhkan bahan pengganti tulang yang mengalami kerusakan yaitu biomaterial.

Biomaterial pengganti tulang pada umumnya adalah *hydroxyapatite* ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) dan *tricalcium phosphate* ($Ca_3(PO4)_2$) karena kedua material ini memiliki komposisi kimia yang mendekati komponen–komponen yang ada di dalam tulang.

Hydroxyapatite (HAP) merupakan senyawa kalsium fosfat yang paling stabil, tetapi tingkat kelarutannya lebih rendah jika dibandingkan dengan *tricalcium phosphate* (TCP).

Tricalcium phosphate (TCP) adalah kombinasi dari kalsium dan senyawa fosfat dengan rumus senyawa $Ca_3(PO4)_2$. TCP memiliki 4 *polymorf* yaitu α, β, γ, dan super α. *Polymorf* super α teramati pada suhu sekitar 1500°C, *polymorf* β teramati sekitar suhu 1120 ^{o}C, *polymorf* γ berada pada fase dengan tekanan tinggi. Struktur molekul TCP dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Struktur molekul TCP.

Salah satu *polymorf* TCP yang banyak digunakan untuk rekontruksi tulang yaitu β-TCP karena memiliki tingkat biodegradasi yang sesuai dengan laju pertumbuhan tulang dan memiliki sifat *osteoconductive* [1]. Sifat bioaktivitas, biokompatibilitas, stabilitas termal, dan tingkat *bioresorbable* β-TCP lebih unggul jika dibandingkan dengan HAP maupun apatit lainnya [2]. Kristal β-TCP memiliki bentuk sel heksagonal dengan nilai parameter kisi a = 1,0439 nm dan parameter kisi c = 3,7375 nm. Terdapat 21 formula per heksagonal satuan sel. β-TCP stabil pada suhu ruang sampai 1120°C dengan kerapatan sebesar 3,07 g/cm3 [3]. β-TCP juga memiliki stoikiometri yang mirip dengan prekursor biologis *amorf* mineral tulang dengan perbandingan molar Ca/P sebesar 1,5.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Abadi *et al*, nano β-TCP disentesis dari $Ca(NO_3)_2$ dengan $(NH_4)_2HPO_4$ [4].. Konsentrasi 0,8 M $(NH_4)_2HPO_4$ pada pH 10,8 ditambahkan setetes demi setetes 1,2 M $Ca(NO_3)_2$ yang juga memiliki pH 10,8 dengan kecepatan 3 ml/menit, kemudian dilakukakn pengadukan selama 16 jam untuk menghasilkan endapan putih. Selanjutnya dicuci dengan H_2O dan etanol 98%, kemudian dipanaskan pada suhu 80°C selama 24 jam. β-TCP diperoleh dengan kalsinasi pada suhu 800°C selama 2 jam [5].

2 METODOLOGI

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah, gelas ukur 10 ml, labu ukur 100 ml, gelas kimia 250 ml, *magnetic stirrer*, termometer digital, *furnace*, timbangan analitik, *hot plate*, pompa vakum, kertas saring, mortar, *aluminium foil*, perangkat XRD, perangkat AAS, perangkat spektroskopi UV-Vis dan perangkat FTIR. Bahan yang akan digunakan adalah serbuk kalsium oksida dari cangkang telur ayam, larutan H_3PO_4, dan *aquabides.*

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan terdiri atas 2 tahap yaitu sintesis β-TCP dan karakterisasi. Penelitian ini diawali dengan kalsinasi cangkang telur selama 5 jam pada suhu 1000°C untuk menghasikan CaO cangkang telur ayam yang akan digunakan pada sintesis β-TCP.

1 Sintesis Kalsium dari Cangkang Telur Ayam

β-TCP disintesis dengan menggunakan kalsium yang bersumber dari cangkang telur ayam. Untuk mendapatkan kalsium dari cangkang telur ayam, langkah pertama yang dilakukan yaitu dengan membersihkan cangkang telur ayam terlebih dahulu. Setelah itu cangkang telur ayam tersebut dikeringkan di udara terbuka selama 10 jam. Selanjutnya dikalsinasi pada suhu 1000°C selama 5 jam.

2 Sintesis β - TCP

β-TCP disintesis dengan menggunakan sumber kalsium dari cangkang telur ayam dan fosfat dari H_3PO_4. Larutan Ca 100 ml konsentrasi 1,2 M direaksikan dengan larutan H_3PO_4 100 ml konsentrasi 0,8 M melalui metode presipitasi dengan tingkat kecepatan tetesnya 3 ml/menit dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan putar 300 rpm pada suhu 50°C. Kemudian disaring dengan pompa vakum untuk mempercepat proses penyaringan. Setelah itu dilakukan *sintering* pada variasi waktu 2 jam, 7 jam, dan 9 jam pada suhu 1000°C. Setelah sampel diperoleh, kemudian dikarakterisasi sifat-sifat fisiknya dengan menggunakan XRD, AAS, spektroskopi UV-Vis, dan FTIR.

3 HASIL DAN DISKUSI

Sintesis β-TCP ini dilakukan dengan mereaksikan kalsium oksida (CaO) dan asam fosfat (H_3PO_4) di udara terbuka yang bertujuan untuk mendapatkan karbon dioksida (CO_2) dari udara agar mencegah terbentuknya HAP. Bahan CaO 24,509 g diperoleh dari 47,005 g cangkang telur ayam. Adapun reaksi dari pembentukan kalsium oksida (CaO) dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

Sampel β-TCP dibuat dalam 3 variasi dengan waktu *sintering* yaitu 2 jam, 7 jam, dan 9 jam. Nilai efisiensi rata-rata sampel β-TCP 79,2%. Sintesis β-TCP ini dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$H_2O + 3CaO + 2\ H_3PO_4 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 4H_2O$$

Keterangan rincian nilai efisiensi pada setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Efisiensi Sampel β-TCP

Sintering (jam)	Massa Ca (gram)	Massa H_3PO_4 (gram)	Massa Hasil (gram)	Efisiensi (%)
2	6,785	0,314	5,655	79,659
7	6,785	0,314	5,633	79,349
9	6,785	0,314	5,583	78,645
Rata-rata massa (%)			79,2 ± 0,5	

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa variasi lamanya waktu *sintering* berpengaruh pada persentase nilai efisiensi setiap sampel. Semakin lama waktu *sintering* maka persentase nilai efisiensinya semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh *inhibitor* yang ada di dalam sampel banyak yang hilang seiring dengan pertambahan waktu *sintering*.

Identifikasi material hasil sintesis menggunakan pola difraksi sinar-x mengacu pada data JCPDS *(joint committee on powder diffraction standards)* dengan nomor 09-0169 untuk β-TCP, nomor 09-0432 untuk HA, dan nomor 44-0778 untuk OKF (okta kalsium fosfat). Selain mengacu pada data JCPDS, pola difraksi XRD sampel β-TCP dibandingkan pula dengan pola XRD β-TCP komersil dengan merk jual *Sentodont* yang diperlihatkan pada Gambar 2 (d). Pola XRD dari masing-masing sampel ditunjukkan pada Gambar 2 (a), 2 (b), dan 2 (c).

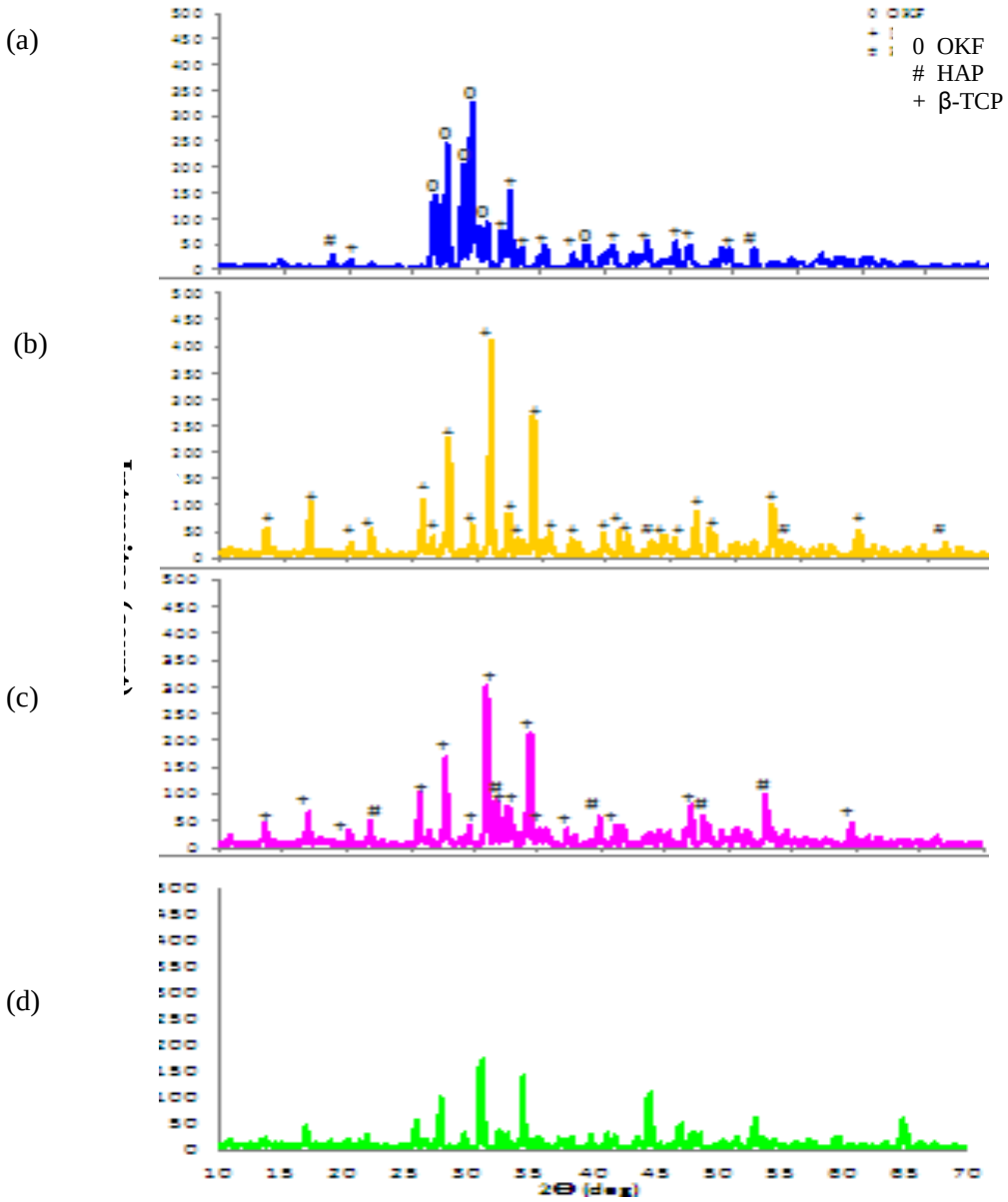
Pada pola XRD sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 2 jam (Gambar 2 (a)) terbentuk 3 fase berbeda yang didominasi oleh fase OKF. Fase OKF dimiliki 3 puncak tertinggi yaitu pada sudut 2θ 27,742^o; 28,962^o; dan 29,647^o. Fase β-TCP sudah terbentuk antara lain pada sudut 2θ 32,615^o; 35,341^o; dan 46,627^o. Fase HAP terbentuk pada sudut 2θ 18,825^o dan 51,628^o.

Pada pola XRD sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam (Gambar 2 (b)), pola XRD menunjukkan terbentuknya 2 fase berbeda yang didominasi oleh fase β-TCP. Fase β-TCP dengan 3 puncak tertinggi yaitu pada sudut 2θ 27,850^o; 31,075^o; dan 34,424^o. Fase HAP terbentuk pada sudut 2θ 44,018^o; 54,4482^o; dan 66,364^o. Pada sampel β-TCP waktu *sintering* 9 jam (Gambar 2 (c)) pola XRD menunjukkan terbentuknya 2 fase yang berbeda. Fase β-TCP dimiliki 3 puncak tertinggi yaitu pada sudut 2θ 27,851^o; 31,078^o; dan 34,430^o. Fase HAP terbentuk sebesar antara lain pada sudut 2θ 21,880^o; 39,845^o dan 53,027^o.

Tabel 2 Komponen Fase Sampel β-TCP.

Sintering	Komponen (%)		
(jam)	β-TCP	HAP	OKF
2	52,63	15,79	31,58
7	86,79	11,54	_
9	78,95	21,05	_

Adapun komponen fase setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 2. Pada Tabel 2 dapat dilihat fase β-TCP sudah terbentuk 52,63% pada sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 2 jam. Selanjutnya nilai persentase fase β-TCP naik menjadi 86,79% pada sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam. Pada sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 9 jam persentase fase β-TCP turun kembali menjadi 78,95%. Sintesis β-TCP di udara terbuka ini optimum terbentuk pada waktu *sintering* 7 jam dan karbon dioksida udara terbuka berpengaruh positif pada sintesis β-TCP. Sampel β-TCP yang paling optimum ini yaitu sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam dibandingkan pula dengan pola XRD β-TCP komersil dengan merk jual *Sentodont* yang diperlihatkan pada Gambar 3 (d). Pola difraksi XRD sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam sesuai dengan pola difraksi XRD β-TCP komersil dengan nilai intensitas yang berbeda.



Gambar 2 Pola Difraksi XRD sampel β-TCP waktu *sintering* 2 jam (a), 7 jam (b), dan 9 jam (c).

Ukuran kristal dan derajat kristalinitas setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 3. Pada Tabel 4 ditunjukkan nilai parameter kisi dan presentase ketepatan sampel β-TCP.

Tabel 3 Ukuran dan Derajat Kristalinitas Sampel β-TCP

Sintering (jam)	Ukuran Kristal (nm)	Derajat Kristalinitas (%)
2	1076,29	86,13
7	1137,07	91,18
9	1043,77	89,5

Tabel 4 Parameter Kisi dan Persentase Ketepatan Sampel β-TCP

Sintering	Parameter Kisi		Ketepatan (%)	
(jam)	a(Å)	C(Å)	a	c
2	9,59	39,64	92,02	93,96
7	9,26	38,48	88,86	97,05
9	15,491	39,85	51,00	88,05

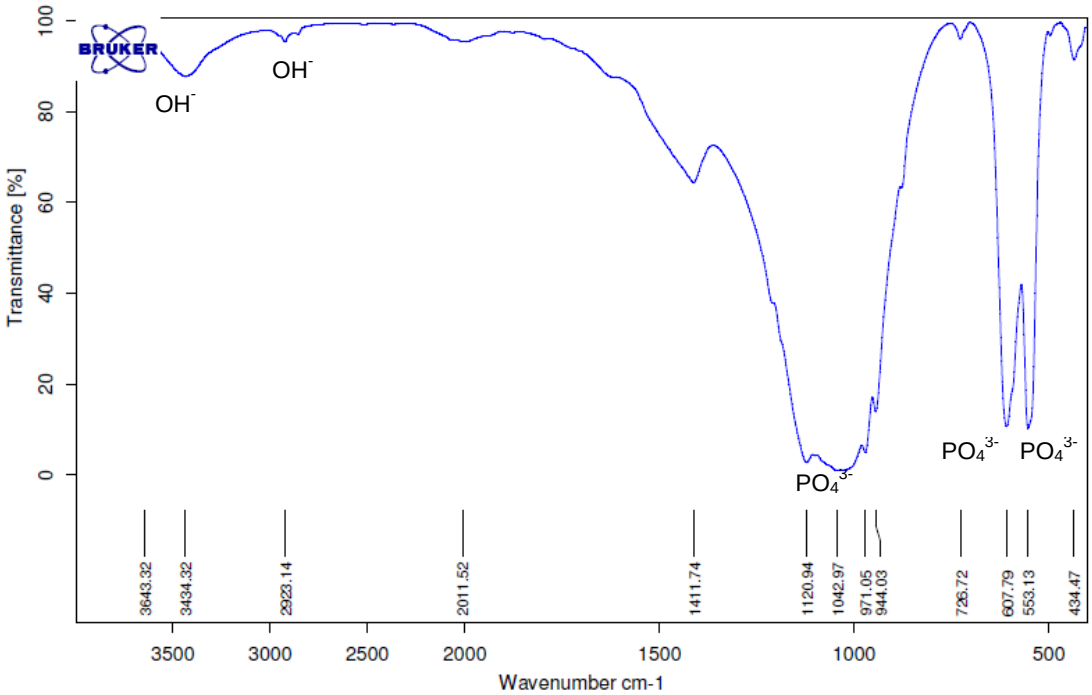
Pada Tabel 3 derajat kristalinitas sampel, lamanya waktu *sintering* berpengaruh pada persentase derajat kristalinitas yang diperoleh. Persentase derajat kristalinitas naik dari 86,13% pada waktu *sintering* 2 jam menjadi 91,18% pada waktu *sintering* 7 jam, kemudian turun kembali menjadi 89,50% pada waktu *sintering* 9 jam. Sampel yang memiliki fase OKF memiliki derajat kristalinitas yang terendah. Sampel dengan persentase komponen fase β-TCP dominan memiliki derajat kristalinitas yang paling optimum. Sampel dengan persentase komponen fase β-TCP yang masih terdapat banyak fase HAP didalamnya memiliki derajat kristalinitas lebih rendah dibanding sampel dengan persentase komponen fase β-TCP yang dominan. Ukuran kristal fase β-TCP berkisar antara 1043,77 nm -1137,07 nm.

Parameter kisi dapat dihitung dengan menggunakan jarak antara bidang pada geometri kristal hexagonal. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4 parameter kisi sampel berada pada fase β-TCP dengan kisaran akurasi parameter kisi a sebesar 51,00% - 92,02%, sedangkan kisaran akurasi kisi c sebesar 88,05% - 97,05%. Sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam memiliki nilai akurasi yang paling tinggi sehingga dapat dikatakan sampel tersebut merupakan β-TCP.

Berdasarkan hasil karakterisasi XRD sampel β-TCP pada 3 variasi dengan waktu *sintering* yaitu 2 jam, 7 jam, dan 9 jam menunjukkan bahwa fase β-TCP terbentuk pada sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam dan 9 jam (Gambar 4 (b) dan Gambar4 (c)). Namun fase β-TCP yang paling optimum terbentuk pada sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam yang nilai efisiensinya 79,349% dan derajat kristalinitasnya 91,18%. Nilai

efisiensi sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam dari pengunaan cangkang telur ayam sebesar 47,82%.

Analisis gugus molekul pada spektra FTIR yang terbentuk dari sintesis sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Spektra FTIR sampel β-TCP waktu *sintering* 7 jam.

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa terdapat pita absorpsi gugus PO_4^{3-} dan OH^-. Gugus PO_4^{3-} tampak pada bilangan gelombang 533,13 cm^{-1}, 607,79 cm^{-1}, dan 1120 cm^{-1}. Gugus OH^- tampak pada bilangan gelombang 2923,14 cm^{-1} dan 3434,32 cm^{-1}. Adanya gusus OH^- pada bilangan gelombang tersebut menunjukkan bahwa masih terdapatnya H_2O pada sampel tersebut sehingga sampel belum kering secara optimum.

Analisis kandungan Ca dan P dari sampel β-TCP waktu *sintering* 7 jam untuk mengetahui kadar ion Ca^{2+} menggunakan AAS dan untuk mengetahui kadar ion P^{5+} menggunakan Spektroskopi UV-Vis. Nisbah Ca/P β-TCP murni adalah 1,5. Pada sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam dapat diperoleh kadar ion Ca^{2+} 0,474 mol dan ion P^{5+} 1,816 mol sehingga menghasilkan nisbah Ca/P 0,26 yang nilainya lebih kecil dari nisbah Ca/P β-TCP murni.

3 SIMPULAN

Fase β-TCP dominan terbentuk pada sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam dan 9 jam, tetapi β-TCP 86,79% terbentuk pada sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam yang nilai efisiensinya 79,35% dan derajat kristalinitasnya 91,18 %. Sintesis β-TCP di udara terbuka ini optimum terbentuk pada waktu *sintering* 7 jam dan karbon dioksida udara terbuka berpengaruh positif pada sintesis β-TCP.

Pada sampel ini terdapat gugus OH^- pada bilangan gelombang 2923,14 cm^{-1} dan 3434,32 cm^{-1} yang berarti bahwa masih terdapatnya H_2O pada sampel tersebut sehingga sampel belum kering secara optimum. Gugus PO_4^{3-} muncul pada bilangan gelombang 533,13 cm^{-1}, 607,79 cm^{-1}, dan 1120 cm^{-1}.

Nilai nisbah Ca/P sampel β-TCP dengan waktu *sintering* 7 jam 0,26 yang nilainya lebih kecil dari nilai nisbah Ca/P β-TCP literatur yaitu 1,5.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Krishna DSR, Siddharthan A, Seshadri SK, Kumar TSS. 2007. A Novel Route for Synthesis of Nanocrystalline Hydroxyapatite From Eggshell Waste. *Material Medicine* 18: 1735 – 1743.

[2] Pang YX, Bao X, Weng L. 2004. Preparation of Tricalcium Phosphate/Alumina Composite Nanoparticles and Self-reinforcing Composites by Simultaneous Precipitation. *Material Science* 39: 6311 – 6323.

[3] Salahi E, Heinrich JG. 2003. Synthesis an Thermal Behaviour of β TCP Precipitated From Aqueous Solutions. *British Ceramic Transactions* 102 (2).

[4] Abadi MBH *et al*. 2010. Synthesis of Nano β-TCP and The Effects on The Mechanical and Biological Properties of β-TCP/HDPE/UHMWPE Nanocomposits.*Pro Quest Science* 31 (10): 1745.

[5] Tazaki J *et al*. 2009. BMP-2 Release and Dose-Response Studies in Hydroxyapatite and β-Tricalcium Phosphate.*Bio-Medical Materials and Engineering* 19: 141–146.

ANALISIS FREKUENSI GELOMBANG ULTRASONIK TERHADAP RADIUS GELEMBUNG KAVITASI PADA SISTEM CAIRAN KOMPRESIBEL

Tb Gamma N.R.*, Mersi Kurniati, Hendradi Hadrienata
Departemen Fisika Institut Pertanian Bogor
tubagusgamma@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian metode numerik dari persamaan dinamika gelembung kavitasi yang dihasilkan melalui gelombang ultrasonik. Pendekatan untuk mendapatkan persamaan dinamika gelembung kavitasi menggunakan permisalan bahwa kecepatan fluida jauh lebih kecil dari kecepatan suara, dan mengabaikan efek dari gravitasi. Metode numerik dari persamaan gelembung menggunakan program MATLAB, dengan metode ODE45. Metode numerik dilakukan dengan melakukan variasi pada nilai frekuensi (*f*), sebesar 450 kHz, 500 kHz, dan 550 kHz. Variasi dari frekuensi dilakukan untuk melihat efeknya terhadap perubahan dinamika gelembung kavitasi.

Kata kunci : Kavitasi, Ultrasonik, ODE45.

1 PENDAHULUAN

Kavitasi merupakan suatu gelembung yang muncul di dalam cairan akibat adanya perubahan tekanan dalam cairan [1]. Salah satu sumber dari perubahan tekanan tersebut adalah penjalaran gelombang ultrasonik di dalam cairan.

Penjalaran gelombang ultrasonik akan mengakibatkan pertumbuhan gelembung pada zat cair hingga ukuran tertentu, setelah mencapai ukuran maksimum gelembung ini akan mengalami tekanan ke arah pusat gelembung, dan mengakibatkan keruntuhan ukuran dengan kecepatan yang sangat tinggi [2]. Gelembung kavitasi dapat memunculkan tekanan dan temperatur yang sangat tinggi pada titik kompresi gelembung [3]. Suhu dan tekanan yang dihasilkan dari fenomena ini akan sangat bergantung pada parameter-parameter yang digunakan dalam gelombang ultrasonik, terutama frekuensi dan intensitas.

Sifat-sifat dari gelembung kavitasi menyebabkannya dapat dimanfaatkan bagi kepentingan manusia, terutama di dalam bidang nanoteknologi. Pada bidang ini dia difokuskan sebagai suatu metode untuk mendapatkan ukuran yang seragam dan minimal, umumnya dalam orde nanometer. Metode yang digunakan untuk menghasilkan partikel berskala nanometer dengan menggunakan gelembung kavitasi dikenal sebagai tehnik sonokimia [4]. Metode ini digunakan karena ia tidak merubah sifat-sifat kimiawi dari

partikel, selain itu ia dianggap lebih efisien dibandingkan metode lainnya [5]. Dalam metode ini partikel dilarutkan dalam zat cair, yang dilanjutkan dengan memberikan gelombang ultrasonik dengan frekuensi yang umumnya berkisar antara 20-25 kHz [6]. Ukuran partikel yang dihasilkan akan sangat bergantung kepada kondisi-kondisi yang digunakan dalam penelitian seperti optimasi alat, parameter-parameter dari gelombang, dan karakteristik cairan yang digunakan.

Pada bidang medis penggunaan gelembung kavitasi digunakan dalam tehnik pengiriman obat (DDS) ke suatu organ yang bermasalah [7]. Metode ini bertujuan untuk mengirimkan obat tepat pada sistem organ yang bermasalah, sehingga dapat mengurangi efek samping dari obat terhadap organ lainnya [8]. Untuk mengirimkan obat tersebut menuju organ yang diinginkan dibutuhkan polimer sebagai pembungkus dari obat dan partikel magnetis, agar ia tidak terlarut sebelum mencapai organ yang diinginkan. Setelah ia mencapai organ yang dituju maka obat akan dilepaskan dengan cara menembakkan ultrasonik untuk menghasilkan gelembung kavitasi yang digunakkan untuk merusak polimer pembungkus.

Pada penelitian ini dilakukan analisa untuk menggambarkan dinamika pergerakan dari gelembung kavitasi dengan mengamati kebergantungan jari-jari gelembung terhadap frekuensi gelombang ultrasonik.

2 METODOLOGI

Untuk memahami pergerakan dari gelembung kavitasi diperlukan pemahaman yang baik mengenai aliran fluida yang pergerakannya diatur oleh konservasi massa dan momentum [9, 10]. Pada arah radial r dapat dituliskan sebagai:

$$\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + v_R \frac{\partial \rho}{\partial r}\right) + \nabla v_R = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial v_R}{\partial t} + v_R \frac{\partial v_R}{\partial r} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r} \tag{2}$$

dimana ρ adalah kerapatan, p adalah tekanan dan v_R adalah kecepatan pada arah radial.

Diketahui bahwa kecepatan suara pada fluida dapat digambarkan sebagai suatu nilai perubahan tekanan terhadap kerapatannya sehingga:

$$c = \sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}} \tag{3}$$

Selain itu diketahui bahwa nilai perubahan entalpi diberikan oleh $dh = \rho^{-1}dp$, sehingga bisa didapat

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + c\frac{\partial}{\partial r}\right) r\varphi = 0 \tag{4}$$

Dengan menurunkan persamaan di atas terhadap t dan menggunakan persamaan konservasi momentum didapatkan

$$rv_R\left(\partial v_R / \partial t\right) + \left(r/\rho\right)\left(\partial p/\partial t\right) + \frac{1}{2}cv_R{}^2 + c\int_{p_0}^{p}\left(\partial p/\rho\right) + crv_R\left(\partial v_R/\partial r\right) + \left(cr/\rho\right)\left(\partial p/\partial r\right) = 0 \tag{5}$$

Dengan menggunakan persamaan konservasi massa dan momentum serta hubungan $d\rho = c^{-2}dp$ akan didapatkan empat persamaan turunan parsial dari p dan v pada dinding gelembung, dimana

$$\begin{aligned}
\left(\partial v_R/\partial t\right)_R &= dv_R/dt + \left(v_R/\rho c^2\right)\left(dP/dt\right) + 2v_R{}^2/\mathrm{R} \\
\left(\partial p/\partial t\right)_R &= dP/dt + \rho v_R\left(dv_R/dt\right) \\
\left(\partial v_R/\partial r\right)_R &= -\left(1/\rho c^2\right)\left(dP/dt\right) - 2v_R/R \\
\left(\partial p/\partial r\right)_R &= -\rho\left(dv_R/dt\right)
\end{aligned} \tag{6}$$

Dengan mengsubstitusikan persamaan di atas ke persamaan (5) akan didapatkan suatu persamaan diferensial untuk kecepatan dinding gelembung

$$R\frac{dv_R}{dt}\left(1 - \frac{2\mathrm{v_R}}{\mathrm{c}}\right) + \frac{3}{2}v_R{}^2\left(1 - \frac{4}{3}\frac{v_R}{c}\right) = \frac{R}{\rho v_R}\frac{dP}{dt}\left(\frac{v_R}{c} + \frac{v_R{}^2}{\mathrm{c}^2} + \frac{v_R{}^3}{c^3}\right) + \int_{P_0}^{P}\frac{dp}{\rho} \tag{7}$$

Persamaan di atas dapat disederhanakan dengan menghilangkan variabel yang memiliki orde lebih besar dari satu untuk $\left(\frac{v_R}{c}\right)$, sehingga

$$R\frac{dv_R}{dt}\left(1 - \frac{2\mathrm{v_R}}{\mathrm{c}}\right) + \frac{3}{2}v_R{}^2\left(1 - \frac{4}{3}\frac{v_R}{c}\right) = \frac{R}{\rho c}\frac{dP}{dt} + \frac{P - p_0}{\rho} \tag{8}$$

Pada penjalaran gelombang di dalam fluida nilai dari tekanan akan berubah-ubah terhadap waktu yang diakibatkan oleh variasi jarak antar molekul, yang dapat dituliskan sebagai

$$P = P_A \sin 2\pi ft \tag{9}$$

dimana P_A adalah amplitudo tekanan

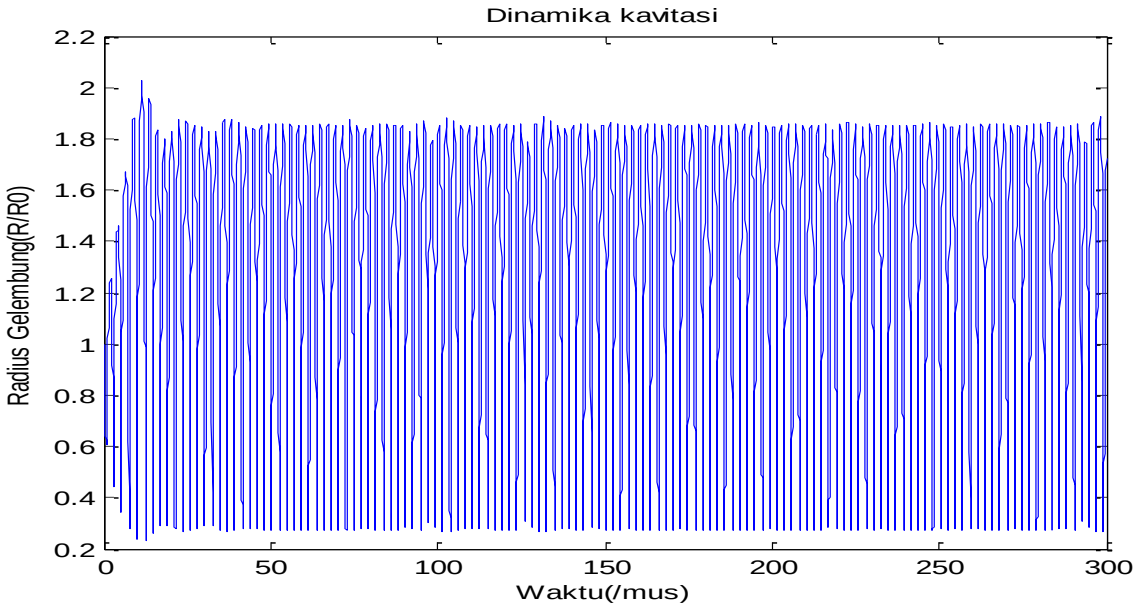
Selain dari gelombang ultrasonik tekanan yang muncul pada gelembung dipengaruhi oleh tegangan permukaan (S) pada permukaan gelembung, efek viskositas (μ), dan tekanan hidrostatis (p_h) sehingga dapat dituliskan

$$P = \left(p_h + \frac{2\mathrm{S}}{\mathrm{R}_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} - \frac{2\mathrm{S}}{\mathrm{R}} - \frac{4\mu}{R}\frac{dR}{dt} - p_\mathrm{h} - P_A \sin(2\pi \mathrm{ft}) \tag{10}$$

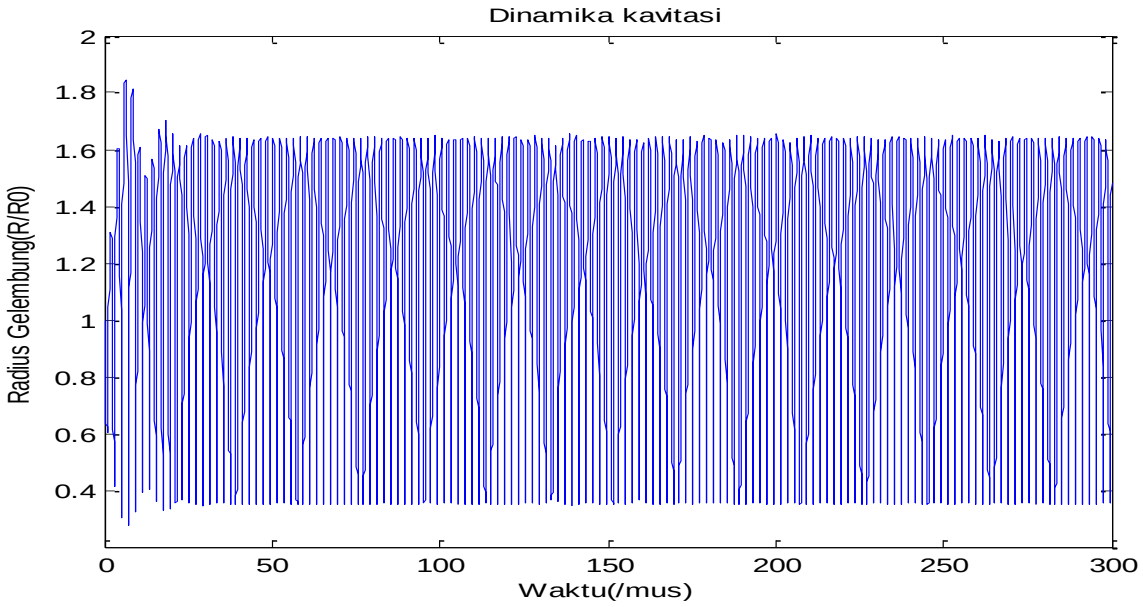
Persamaan-persamaan di atas dimodelkan menggunakan MATLAB dimana kita tentukan bahwa R_0 sebesar 10^{-6} m, amplitudo tekanan 114 kPa, viskositas 0,001 N.s/m^2, tegangan permukaan 0,073 N/m, kerapatan 998 kg/m^3, tekanan hidrostatis 101,32 kPa, dan rasio kapasitas panas 1,4. Pemodelan ini dilakukan pada tiga nilai frekuensi yang berbeda, yakni 450 kHz, 500 kHz dan 550 kHz.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

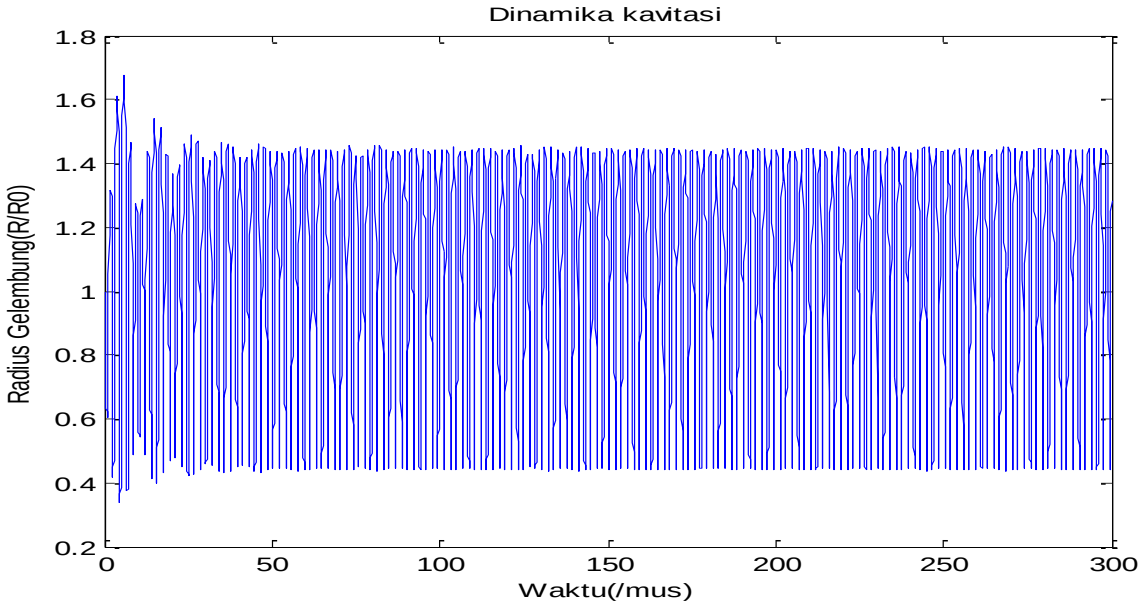
Dari hasil yang didapatkan diperlihatkan bahwa besarnya rentang antara (R/R_0) maksimum dan (R/R_0) minimum akan semakin kecil dengan meningkatnya nilai frekuensi yang digunakan, yaitu 1,54 untuk f = 450 kHz, 1,26 untuk f = 500 kHz, dan 0,98 untuk f = 550 kHz, seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.



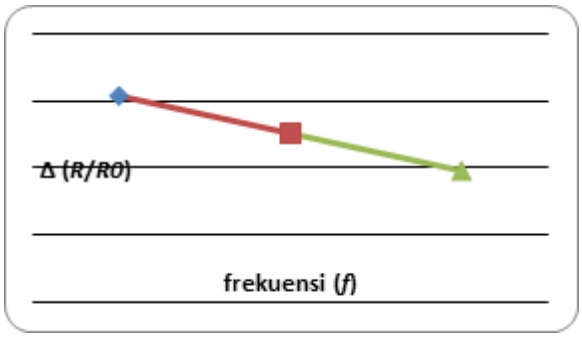
Gambar 1 Model persamaan kavitasi untuk frekuensi *f* = 450 kHz



Gambar 2 Model persamaan kavitasi untuk frekuensi *f* = 500 kHz



Gambar 3 Model persamaan kavitasi untuk frekuensi f = 550 kHz



Gambar 4 Plot grafik dari frekueni(f) vs $\Delta(R/R_o)$

Dari model juga dapat diperlihatkan bahwa dengan semakin bertambahnya frekuensi akan meningkatkan kecepatan dari pergerakan siklus refraksi-kompresi yang dialami gelembung.

4 KESIMPULAN

Kavitasi dapat muncul di dalam cairan dengan memberikan variasi tekanan terhadapnya, sehingga akan memunculkan siklus refraksi-kompresi pada cairan yang tejadi secara berulang, tergantung dari kondisi cairan yang digunakan.

Kavitasi dapat dibagi menjadi dua jenis, yakni kavitasi hidrodinamik yang muncul akibat tekanan yang berasal dari pergerakan cairan. Kedua adalah kavitasi akustik , muncul akibat tekanan yang berasal dari gelombang.

Dengan semakin meningkatnya frekuensi gelombang yang digunakan untuk menghasilkan kavitasi, akan meningkatkan kecepatan pergerakan dari gelembung kavitasi. Selain itu peningkatan frekuensi juga akan menurunkan nilai rentang (R/R_0), dimana R adalah radius gelembung pada suatu waktu dan R_0 adalah gelembung awal.

Nilai rentang (R/R_0) maksimum pada penelitian ini didapatkan pada frekuensi 450 kHz dengan nilai 1,53 dan nilai minimum pada frekuansi 550 kHz dengan nilai 0,98.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Noltingk B.E, Neppiras E.A. *Cavitation Produced by Ultrasonics: Theoretical conditions for the onset of cavitation* . Phys. Rep. 61, 160- 251 (1980)

[2] Neppiras, E.A. *Acoustic cavitation*. Phys. Rep. 61, 160- 251 (1980)

[3] Hickling R., Plesset M.S. *Collapse and rebound of a Spherical Bubble in Water*. The Physics of Fluids 7 (1964) 7

[4] Mason T.J., Lorimer J.P. *Applied Sonochemistry: The Uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing*. Coventry University. Coventry (2002)

[5] Arrojo S., Benitto Y. *A theoretical study of hydrodynamic cavitation*. Ultrasonics Sonochemistry 15 (2008) 203-211.

[6] J.P. Franc and J. M. Michel. *Fundamentals of cavitation*. University of Grenoble. France (2005).

[7] Alfonso, M. *High-Frequency ultrasound drug delivery and cavitation*. Brigham Young University (2007).

[8] G.P. William, A.H. Ghaleb and J.S. Bryant *Ultrasonic Drug Delivery-A General Review*. *Expert Opin Drug Deliv*. 2004 November ; 1(1): 37–56.

IDENTIFIKASI TRANSISI FASA PADA SISTEM MESOSKOPIK MENGGUNAKAN *INVARIANT CORRELATIONAL ENTROPY*

Tony Ibnu Sumaryada
Bagian Fisika Teori, Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
Kampus Darmaga IPB Bogor 16880

ABSTRAK

Sistem mesoskopik merupakan sistem yang unik, jumlah partikel yang berkisar dari orde beberapa buah partikel hingga ribuan partikel menyebabkan sistem ini terlalu rumit untuk diperlakukan sebagai sistem kuantum, namun juga terlalu kecil untuk diperlakukan sebagai sistem makroskopik. Detil transisi fasa pada sistem ini tidak dapat diperoleh jika hanya mengandalkan metoda pendekatan fisika statistik. Dalam presentasi ini akan diperkenalkan metoda pendeteksian transisi fasa baru yang sangat sensitif, yaitu *Invariant Correlational Entropy* (ICE). Metode ini sangat sensitif karena hanya bergantung pada perubahan fungsi korelasi antar keadaan dan tidak bergantung pada basis keadaan yang dipilih.

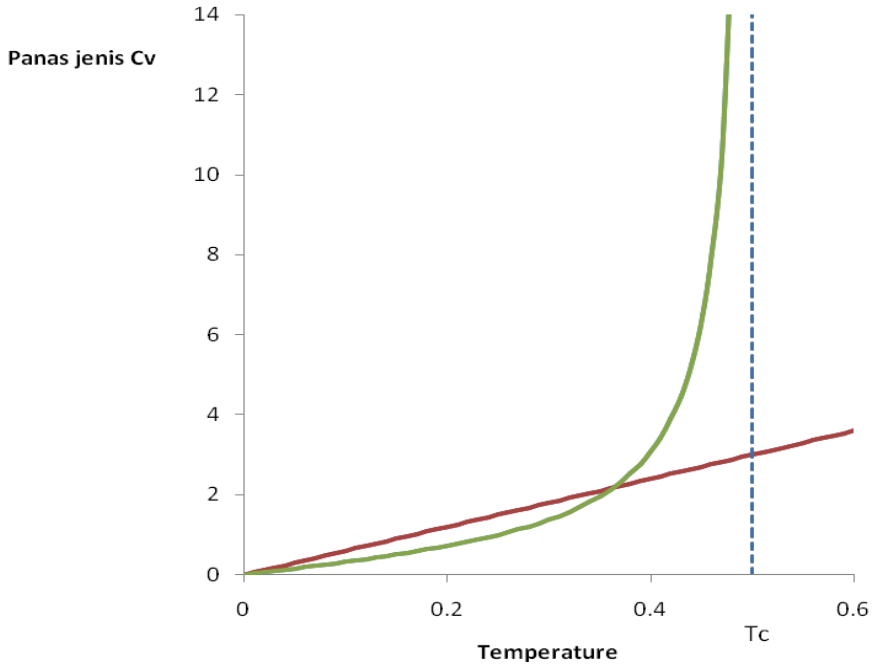
Kata Kunci: Transisi fasa, mesoskopik, Invariantb Correlation Entropy

1 PENDAHULUAN

Identifikasi perubahan fasa pada suatu sistem merupakan salah satu topik yang sangat penting dalam fisika. Berbagai metoda baik eksperimen maupun teori telah banyak diperkenalkan dan digunakan untuk mengetahui kapan transisi dari satu keadaan ke keadaan lainnya dimulai. Sebagai contoh, dapat dikemukakan disini perubahan keadaan atau *phase transition* dari keadaan Superkonduksi ke keadaan Normal. Bila dilakukan pengukuran panas jenis (*specific heat* atau C_v) dari suatu bahan superkonduktor maka akan teramati perubahan drastis C_v pada temperatur tertentu yang kita sebut sebagai temperature kritis atau T_c yaitu temperatur saat terjadinya perubahan fasa, sebagaimana yang ditunjukkan dalam ilustrasi di bawah ini.

Terjadinya perubahan mendadak atau diskontinuitas pada panas jenis suatu bahan hanya berlaku untuk sistem yang memenuhi limit termodinamik (Jumlah partikel mendekati

tak hingga), sedangkan pada sistem kecil (*small system*) perubahan tersebut akan tampak lebih kontinu .



Gambar 1. Ilustrasi mengenai transisi dari keadaan superkonduksi ke keadaan normal dari suatu bahan superkonduktor. Panas jenis dan Temperatur dalam unit sembarang.

Secara umum dapat dikatakan bahwa sistem mesoskopik sesungguhnya merupakan miniatur dari sistem makroskopik, namun dengan sifat dan perilakunya yang hanya dapat dijelaskan secara fisika kuantum. Contoh dari sistem mesoskopik anatara lain *atomic cluster, quantum dots, nanomaterials*, dan lain lain. Karena teknologi di masa depan akan sangat bergantung pada ilmu dan teknologi nano, maka studi mengenai sistem mesoskopik baik teori maupun eksperimen menjadi sangat penting untuk dilakukan.

Perubahan fasa pada sistem kecil lebih sulit diamati karena sangat dipengaruhi oleh fluktuasi termal, perubahan struktural dalam sistem, serta sensitifitas sistem terhadap perubahan parameter transisi [1]. Beberapa metoda pengidentifikasian dan pengklasifikasian transisi fasa pada sistem mesoskopik dan kuantum dapat ditemukan pada referensi berikut [2-5].

Pada tulisan ini kami akan mengunakan metoda *Invariant Correlational Entropy* atau ICE yang dikembangkan oleh Sokolov dan Zelevinsky [5] untuk mengidentifikasi transisi fasa pada sistem mesoskopik. Metoda ini sangat akurat dan sensitif karena mampu mendeteksi transisi fasa dari suatu keadaan (*state*) dengan cara memberikan gangguan kecil (*small variation*) terhadap parameter eksternal. Transisi fasa yang kami kerjakan disini dibatasi hanya untuk transisi fasa dari keadaan normal ke keadaan superkonduksi / superfluida pada model sistem mesoskopik. Model yang kami gunakan disini adalah sistem dengan dua keadaan (*two-level system*).

2 METODE

Metode Invariant Correlational Entropy dirancang untuk mampu mendeteksi transisi fasa hingga ke level mekanika kuantum. Untuk menghitung ICE, pertama tama kita perlu mengasumsikan Hamiltonian H(β) yang bergantung pada parameter eksternal β (yang dalam hal ini kita pilih kekuatan pemasangan atau *pairing strength*) [6]. Untuk sembarang basis |n > keadaan eigen dari H(β) dapat di dekomposisikan menjadi :

$$\left|\alpha(\beta)\right\rangle = \sum_n C_n^{\alpha}(\beta)\left|n\right\rangle \tag{1}$$

ICE untuk keadaan eigen individual β dapat diperoleh dengan cara mereratakan matrik kerapatan dalam rentang interval *pairing strength* antara β hingga β+δ. δ di sini adalah perubahan atau gangguan kecil yang diberikan kepada sistem.

Dari sini kita dapat mendefinisikan ICE sebagai :

$$I^{\alpha}(\beta) = -Tr(\overline{\rho^{\alpha}} \ln \overline{\rho^{\alpha}}) \tag{2}$$

Sedangkan matrik kerapatan sendiri didefinisikan sebagai :

$$\overline{\rho_{nn'}^{\alpha}}(\beta) = \overline{\left\langle n\middle|\alpha\right\rangle\left\langle\alpha\middle|n'\right\rangle} \tag{3}$$

dan merupakan kerapatan keadaan dari state α di dalam basis |n > yang direratakan dalam rentang *pairing strength* yang sangat sempit yaitu antara β hingga β+δ. Hamiltonian yang

digunakan dalam kasus ini diambil dari model pemasangan eksak atau (*exact pairing model*) dan memiliki dua suku yaitu suku partikel tunggal dan suku interaksi pasangan :

$$H = 2\sum_{i>0} \varepsilon_i n_i - \sum_{i,j>0} G_{ij}\, p_i^{\dagger} p_j \tag{4}$$

ε adalah energi partikel tunggal, n merupakan jumlah total partikel, dan G berhubungan dengan kekuatan pemasangan atau *pairing strength*. Operator p^+ dan p merupakan *creation and annihillation operator of pairing*, yang bertanggung jawab atas penciptaan dan pemusnahan pasangan. Dengan menggunakan aljabar spin (*spin algebra*) kita dapat menyelesaikan persamaan ini secara eksak dan memperoleh spektrum energi lengkap dari sistem ini. Data spektrum energi tersebut selanjutnya diolah menggunakan fisika statistik untuk menghasilkan besaran termodinamika yang diinginkan. Penjelasan lengkap mengenai metoda ini dapat dibaca pada Ref [7].

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 2 ditampilkan perbandingan antara ICE yang diperoleh dari perhitungan langsung dengan hasil penghalusan Bezier. Tampak bahwa hasil perhitungan langsung telah mampu mengidentifikasi transisi fasa pada beberapa tingkat energi eksitasi. Hanya saja kurva yang dihasilkan mengandung terlalu banyak *noise* dan sulit bagi kita untuk menentukan posisi-posisi energi yang tepat saat terjadinya perubahan fasa.

Untuk memperoleh kurva ICE yang baik perlu dilakukan proses penghalusan atau *smoothing* terhadap hasil perhitungan. Proses penghalusan kurva yang digunakan adalah metoda Bezier yang tersedia dan siap digunakan dalam program *gnuplot*.

Metoda Bezier pertama kali diperkenalkan oleh Pierre Bezier di tahun 1962 [8]. Metoda ini mulanya digunakan untuk mempermudah desain dan perancangan bentuk mobil. Metoda ini kemudian diperluas penerapannya untuk membantu menyederhanakan berbagai macam masalah mulai dari program animasi kartun hingga perhitungan ilmiah.

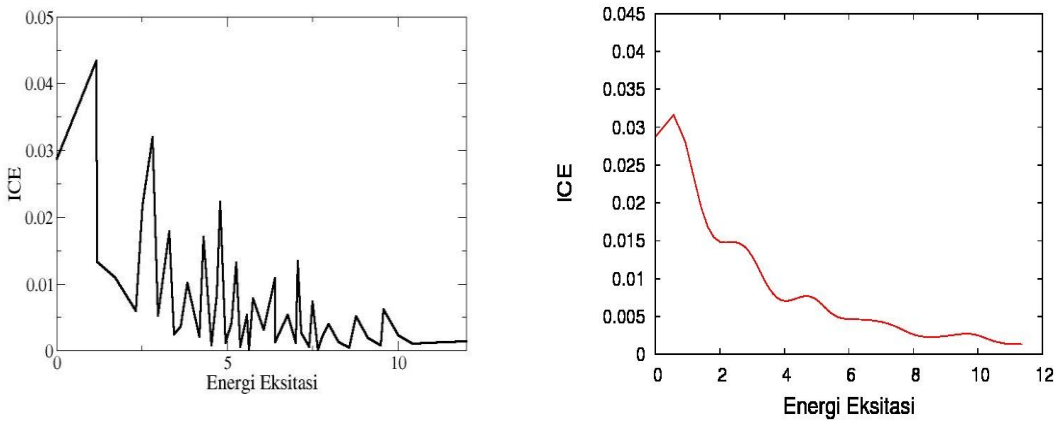
Untuk sembarang derajat n, fungsi Bezier B(t), dan titik awal P_0, P_1, hingga P_n proses penghalusan Bezier menggunakan persamaan berikut :

$$B(t) = \sum_{i=0}^{n} \binom{n}{i} (1-t)^{n-i} t^i P_i$$
$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!} \tag{5}$$

di mana $\binom{n}{i}$ adalah koefisien binomial.

Kurva ICE hasil penghalusan Bezier (Gambar 2. panel sebelah kanan) memudahkan kita untuk memprediksi posisi-posisi energi saat terjadi perubahan fasa. Lima puncak atau *bumps* yang teramati pada plot tersebut menunjukkan posisi-posisi energi saat terjadinya pemecahan pasangan *pair breaking* yang mendorong terjadinya transisi fasa dari keadaan superkonduksi / superfluida (*fully paired system*) ke keadaan normal (*no paired system*).

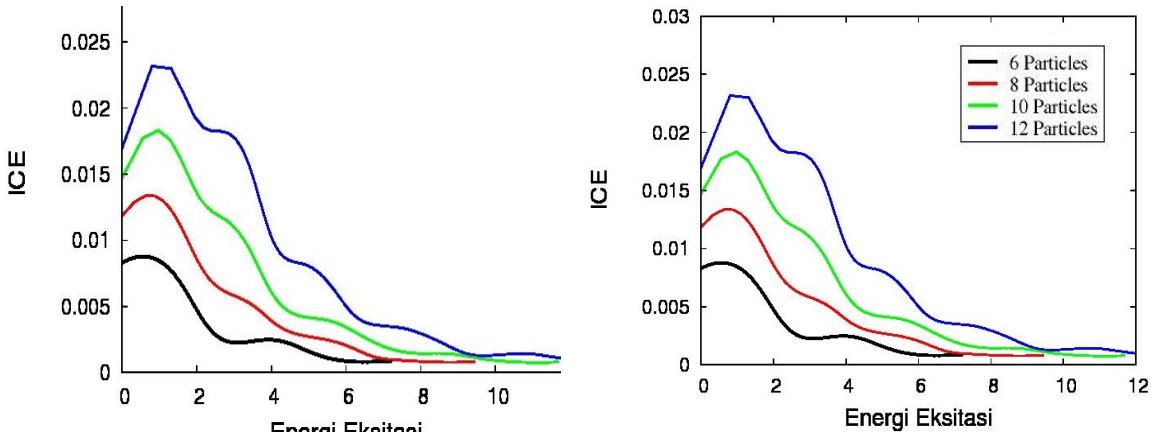
Untuk semua gambar dan plot dalam tulisan ini kami menggunakan unit sembarang (*arbitrary unit*) untuk ICE dan panas jenis, sedangkan untuk energi eksitasi dinyatakan dalam unit energi pemisahan level (*level spacing energy*).



Gambar 2 Perbandingan antara ICE hasil perhitungan langsung (panel sebelah kiri) dengan ICE hasil penghalusan menggunakan metoda Bezier dari program gnuplot (panel sebelah kanan). Simulasi perhitungan dibuat untuk sistem dengan jumlah partikel N=12 dan kekuatan pemasangan atau *pairing strength* β=0.50

Pada Gambar.3 kami tampilkan perbandingan langsung antara Transisi fasa ditinjau dari kurva kapasitas jenis dan *Invariant Correlational Entroy*. Ditinjau dari kurva panas jenis terlihat bahwa transisi fasa hanya mampu menampilkan transisi fasa tunggal dari keadaan

superkonduksi ke keadaan normal. Sedangkan dilihat dari kurva ICE, kita mampu memprediksi kapan terjadinya transisi fasa dari setiap pasangan. Posisi-posisi energi saat terjadinya pemecahan pasangan *pair breaking* terlihat jelas pada kurva ICE. Untuk Gambar.3 , perhitungan dilakukan untuk variasi jumlah partikel 6,8,10,dan 12, serta *pairing strength* β=1.00



Gambar 3 Panel kiri menggambarkan transisi fasa dilihat dari kurva panas jenis. Sedangkan panel kanan menunjukkan transisi fasa ditinjau dari *Invariant Correlational Entropy*. *Pairing strength* ynag digunakan adalah β=1.00.

Pengaruh jumlah partikel juga ditampilkan pada ke dua kurva tersebut. Secara teoritis, apabila jumlah partikel semakin banyak, maka transisi fasa yang terjadi akan semakin mendekati karakter sistem makroskopik yaitu kurva yang tajam dan diskontinu. Terlihat jelas pada Gambar.3, bahwa semakin banyak jumlah partikel maka akan semakin tinggi dan tajam pula bentuk kurva panas jenis maupun ICE-nya

4 KESIMPULAN DAN PROSPEK

Metoda *Invariant Correlational Entropy* mampu mengidentifikasi perubahan struktural yang terjadi ketika terjadi variasi perubahan parameter kontrol, yang dalam hal ini adalah kekuatan pemasangan atau *pairing strength*. Perubahan struktural tersebut berhubungan langsung dengan transisi fasa dalam level mekanika kuantum. Kemampuan *mengendus* perubahan keadaan dalam level mekanika kuantum ini menjadikan ICE sebagai

suatu perkakas atau *tool* yang sangat baik untuk mendeteksi transisi fasa pada sistem mesoskopik, dimana jumlah partikel yang tersedia jauh di bawah limit termodinamika.

Di masa depan penguasaan ilmu dan teknologi *nano* akan menjadi sangat penting dan bernilai strategis, untuk itu studi dan pengaplikasian metoda ICE untuk sistem mesoskopik lainnya seperti *quantum dots*, atomic clusters, *ultra small metallic superconductor* dan *nano materials* lainnya perlu untuk dilakukan.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada A. Volya dan V. Zelevinsky atas diskusi dan arahannya yang sangat berguna dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Departemen Fisika IPB terutama Bagian Fisika Teori, yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A .Volya, V.Zelevinsky, Physics Letters B 574 (2003) 27-34.

[2] O. Mulken, H. Stamerjohanns, P. Borrmann, Phys.Rev E 64 (2001) 047105.

[3] P. Cejnar, V. Zelevinsky, V.V. Sokolov, Phys.Rev E 63 (2001) 036127.

[4] P. Borrmann, J. Harting, Phys.Rev. Lett. 86 (2001) 3120.

[5] V.V. Sokolov, B.A. Brown, V. Zelevinsky, Phys.Rev E 58 (1998) 56.

[6] T. Sumaryada, *Pairing Correlations and Phase Transitions in Mesoscopic Systems*,

[7] Ph.D thesis, Florida State University, 2007.

[8] A. Volya, B. Brown, V. Zelevinsky, Phys.Lett B 509 (2001) 37

[9] Wikipedia, *Bezier Curve*, http://en.wikipedia.org/wiki/Béziier_curve

KARAKTERISASI SENSOR KRISTAL FOTONIK SATU DIMENSI UNTUK PENGUKURAN *TOTAL SUSPENDED PARTICULATE (TSP)*

A.Tumanggor[1], M. Rahmat[2], A.Maddu[3]

[1]Department of Physics
[2] Agricultural Engineering Study Program, Graduate School
[3]Biophysics Division, Department of Physics
Bogor Agricultural University
Dramaga Bogor 16680, Indonesia
arianti.tumanggor@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu parameter pencemar udara adalah *total suspended particulate* (TSP). Metode yang sering digunakan untuk mengukur konsentrasi TSP adalah metode gravimetri yang tidak *in-situ* dan *real-time*. Penelitian ini menggunakan sensor kristal fotonik satu dimensi, data hasil pengukuran yang diperoleh langsung ditampilkan pada saat pengukuran. Penelitian ini mengkarakterisasi TSP secara spektroskopi, mengukur konsentrasi TSP serta kalibrasi sensor kristal fotonik satu dimensi. Peningkatan konsentrasi TSP yang terjerap menyebabkan intensitas transmisi cahaya yang diterima oleh fotodetektor semakin menurun. Pengukuran intensitas transmisi cahaya yang diterima fotodioda sebagai fotodetektor menunjukkan nilai sensitivitas 891,5 mV/(µg/m³) dengan koefisien determinasi 74,6% pada selang konsentrasi 0,0356 - 0,0730 µg/m³. Pengukuran intensitas transmisi cahaya dengan spektrofotometer sebagai fotodetektor menunjukkan nilai sensitivitas sebesar 401,1 (10^3 Watt/m^2)/(µg/m³) dengan koefisien determinasi 76,0% pada selang konsentrasi 0,0213 - 0,0438 µg/m³.

Kata kunci : sensor kristal fotonik satu dimensi, *total suspended particulate* (TSP), fotodetektor.

1 PENDAHULUAN

Berdasarkan baku mutu udara lingkungan menurut peraturan pemerintah nomor 41 tahun 1999 *total suspended particulate* (TSP) merupakan salah satu parameter pencemar udara. *Total suspended particulate* dinamakan partikulat yang tersuspensi di udara ambient [1]. Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, baku mutu udara ambien nasional untuk TSP adalah 230 µg/m^3 per 24 jam [2].

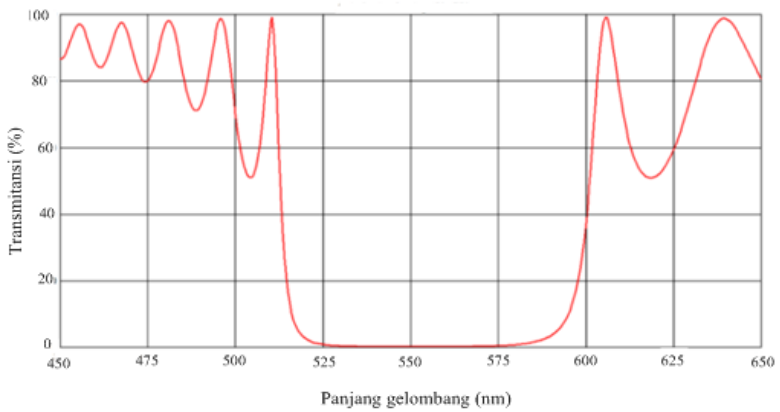
Total suspended particulate adalah partikel-partikel yang tersuspensi di udara ambien, mengacu pada semua partikel yang ukurannya kurang dari 100 mikrometer [3].

Partikel debu melayang-layang dalam waktu yang relatif lama di udara kemudian masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan. Partikel debu merupakan campuran dari berbagai bahan dengan ukuran dan bentuk yang relatif berbeda-beda, sehingga komposisinya di udara menjadi partikel yang sangat rumit [4]. Menurut Fardiaz (1992) partikel debu memiliki sifat: pengendap, adsorbsi, absorbsi dan optik [5].

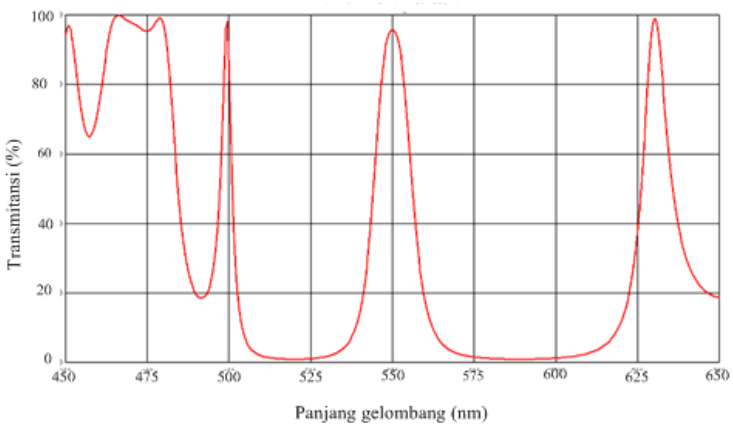
Berdasarkan SNI 19-7119.3-2005 salah satu metode yang digunakan untuk mengukur konsentrasi TSP adalah metode gravimetri [6]. Metode ini dapat menggambarkan konsentrasi TSP di udara permukaan, akan tetapi pengujian data membutuhkan waktu yang cukup lama atau tidak *rea-ltime*.

Dalam penelitian ini digunakan sensor kristal fotonik satu dimensi, yaitu piranti yang mampu mendeteksi perubahan intensitas cahaya yang melewati sampel, data hasil pengukuran yang diperoleh langsung ditampilkan pada saat itu juga yang disebut *in-situ* dan *real-time [7]*. Kristal fotonik adalah kristal buatan yang tersusun secara periodik dari material optik dengan indeks bias yang berbeda [8]. Kristal fotonik satu dimensi berupa sistem optik periodik yang tersusun atas *unit-unit* sel identik. Masing-masing *unit* sel tersebut terdiri dari dua atau lebih lapisan material dielektrik dengan indeks bias rendah dan tinggi, dan dengan ketebalan berorde panjang gelombang elektromagnetik (EM) operasional. Interferensi antara gelombang transmisi dengan refleksi dapat mengakibatkan penghambatan perambatan gelombang EM pada rentang panjang gelombang tertentu. Rentang ini dikenal dengan istilah *photonic band gap* (PBG) *[7]*.

Jika struktur kristal fotonik ini didesain memiliki satu atau lebih *unit* sel *defect* (cacat), yaitu lapisan yang memiliki ketebalan optik berbeda dengan ketebalan lapisan pada *unit* sel reguler, maka akan muncul fenomena *photonic pass band* (PPB) yang menunjukkan semacam kebocoran gelombang EM dalam rentang PBG seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Karakteristik PPB tersebut sangat sensitif terhadap perubahan indeks bias material pada lapisan *defect*. Fenomena inilah yang dimanfaatkan untuk pembuatan sensor optik berbasis kristal fotonik, dimana material sampel yang akan dideteksi diperlakukan sebagai lapisan *defect [7]*.



Gambar 1 Kurva transmitansi kristal fotonik satu dimensi tanpa *defect*



Gambar 2 Kurva transmitansi kristal fotonik satu dimensi dengan *defect*

Prinsip kerja sensor ini adalah dengan merambatkan gelombang EM di dalam kristal fotonik yang disisipi material sampel, kemudian diterima oleh fotodetektor yang mengubahnya menjadi tegangan listrik. Agar dapat terbaca, tegangan tersebut harus diperkuat oleh rangkaian penguat (amplifier). Tegangan yang dihasilkan pada prinsipnya dapat dikonversi dan dikalibrasi ke dalam satuan parameter yang dibutuhkan, misalnya gram/liter, molar, % volume atau % bobot [7].

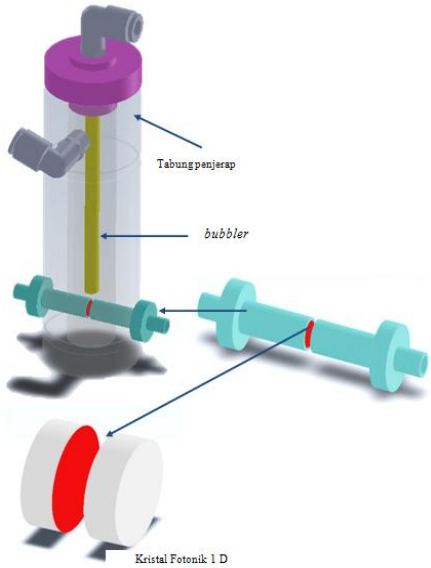
2 METODOLOGI

Karakterisasi Spektrometri TSP

Analisis spektrometri TSP dilakukan untuk memperoleh panjang gelombang absorpsi TSP, yang digunakan untuk pembuatan sensor kristal fotonik satu dimensi. Setelah diperoleh data transmitansi dan absorbansi dari blanko dan sampel, diamati perubahan intensitas atau perubahan spektrum dari *blanko* terhadap sampel. Panjang gelombang operasi ini selain untuk fabrikasi sensor kristal fotonik satu dimensi, juga sebagai sumber cahaya. Selama proses karakterisasi spektrometri TSP, sumber cahaya yang digunakan berupa sumber cahaya polikromatis. Agar cahaya yang melewati jerapan lebih spesifik maka sumber cahaya yang digunakan dalam karakterisasi kristal fotonik satu dimensi untuk pengukuran TSP adalah sumber cahaya monokromatis.

Karakterisasi Sensor Kristal Fotonik Satu Dimensi

Pengukuran transmisi cahaya yang diterima fotodetektor dilakukan secara bersamaan dan kondisi yang sama dengan pengukuran konsentrasi TSP secara gravimetri. Fotodetektor yang digunakan adalah spektrofotometer dan fotodioda. Sensor kristal fotonik satu dimensi dipasang pada tabung penjerap.



Gambar 3 Tabung penjerap

Penjerap (akuades) dimasukkan ke dalam tabung penjerap yang telah dipasangi kristal fotonik satu dimensi di bagian bawah tabung. Udara masuk dari kepala tabung dan dihisap dari bagian leher tabung (terhubung dengan pompa vakum). Setelah pengambilan sampel selama satu jam dengan laju alir 0,4 Liter/menit, dilakukan pengenceran dengan menambahkan 0,5 – 1 ml akuades ke dalam jerapan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Spektrometri TSP

Analisis spektroskopi dilakukan melalui pengukuran transmitansi dan absorbansi dengan menggunakan *Ocean Optics Spectrophotometer* UV-Vis USB 4000. Transmitansi akuades 100% digunakan sebagai kalibrasi untuk memperoleh transmitansi TSP. Hasil pengukuran transmitansi TSP menunjukkan bahwa tidak ada perubahan bentuk spektrum transmisi yang menyolok, hanya intensitas transmitansi yang berubah nyata pada rentang cahaya tampak 400 – 850 nm, turun kurang lebih menjadi 80–85% T dengan bbsorbansi campuran TSP naik hingga 0,1 *arbitrary unit* (a.u).

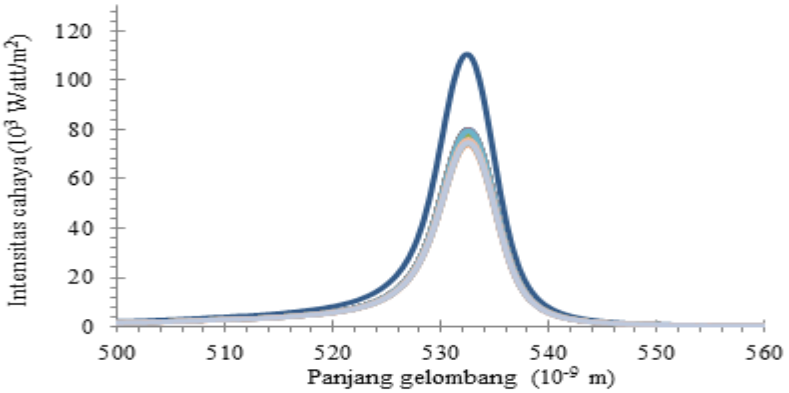
Hasil karakterisasi spektrometri TSP yang terjerap dalam akuades, menunjukkan bahwa TSP menyerap cahaya yang dilewatkan sehingga cahaya yang merambat lebih sedikit dibandingkan jika melewati akuades. Hal ini merupakan sifat partikulat yaitu sifat absorbsi spektrum EM. TSP terdeteksi pada semua panjang gelombang cahaya tampak. Oleh karena itu agar pengukuran terfokus pada satu panjang gelombang, maka dipilih panjang gelombang 525 nm sebagai panjang gelombang operasi. Panjang gelombang operasi sebagai acuan untuk desain dan fabrikasi sensor.

3.2 Kepekaan Sensor Kristal Fotonik Satu Dimensi

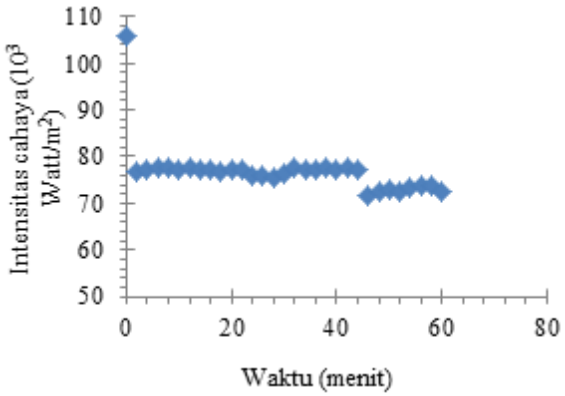
Gelombang EM yang dilewatkan di dalam kristal fotonik satu dimensi yang disisipi penjerap dan sampel, diterima oleh fotodetektor. Besar kecilnya tegangan yang dihasilkan oleh fotodioda tergantung besar kecilnya pancaran cahaya yang diterima fotodioada.

Hasil pengukuran menunjukkan munculnya fenomena PPB pada daerah PBG pada panjang gelombang operasi 533,16 nm. Gambar 4 memperlihatkan intensitas transmisi cahaya (intensitas PPB) tertinggi pada saat kalibrasi awal, kondisi belum ada TSP yang terjerap yaitu sebelum penyedotan udara. Puncak-puncak intensitas cahaya dari Gambar 4

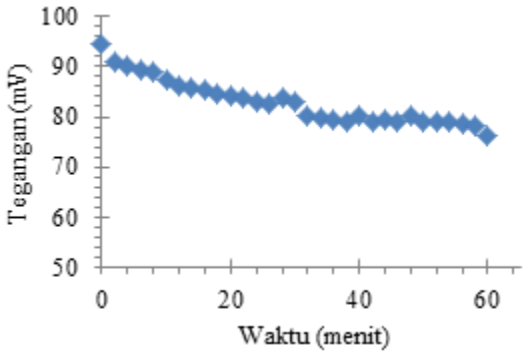
dihubungkan terhadap waktu pengambilan sampel, ditunjukkan pada Gambar 5. Tegangan yang dihasilkan oleh fotodioda dari pancaran cahaya yang mengenainya secara *real-time* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 4. Spektrum transmisi sampel pada daerah PBG (saat pengambilan sampel)



Gambar 5 (kiri). Kurva intensitas cahaya yang diterima spektrofotometer terhadap waktu

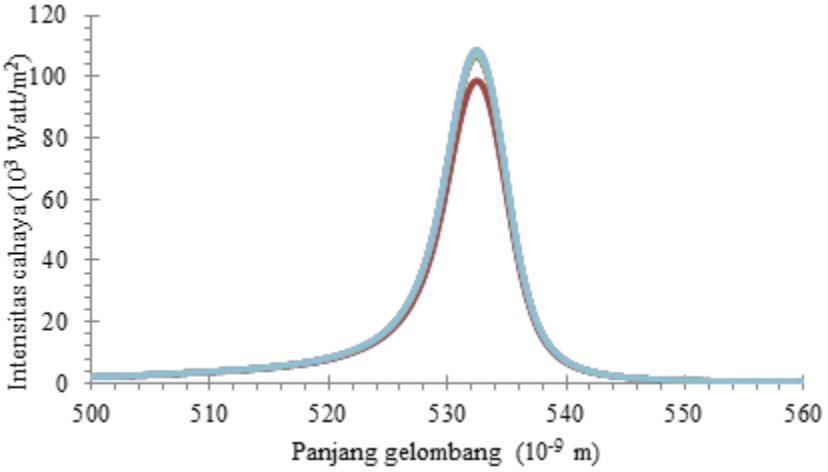


Gambar 6 (kanan). Kurva tegangan keluaran fotodioada terhadap waktu

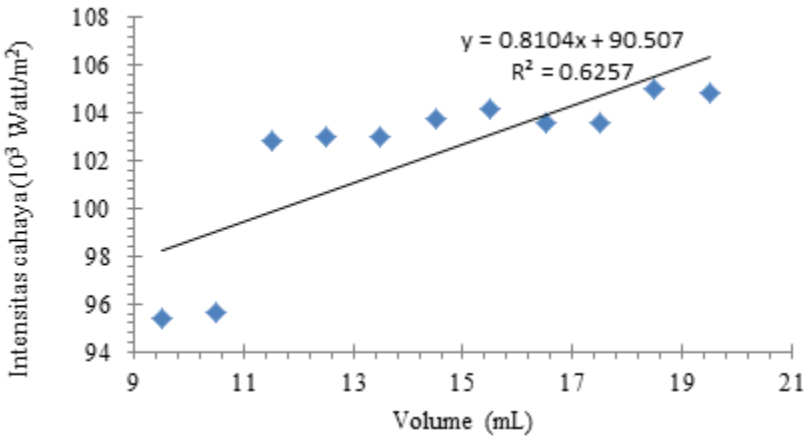
Gambar 5 dan Gambar 6, menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengambilan sampel, maka intensitas transmisi cahaya yang diterima spektrofotometer dan fotodioda cenderung semakin menurun, karena semakin banyak TSP yang terjerap. Sehingga pancaran cahaya yang mampu melewati jerapan dan yang diterima fotodetektor semakin sedikit.

Konsentrasi TSP yang diperoleh secara gravimetri 120,512 µg/m³, pengambilan sampel ini bersamaan dengan pengukuran transmisi cahaya yang diterima spektrofotometer secara *real-time*. Sehingga dengan analisis perbandingan laju alir diperoleh konsentrasi TSP yang terjerap sebanyak 0,0438 µg/m³, dengan spektrofotometer sebagai fotodetektor. Secara gravimetri konsentrasi TSP yang terperangkap 200,868 µg/m³, dilakukan bersamaan dengan pengukuran transmisi cahaya yang diterima fotodioda secara *real-time*. Sehingga dengan analisis perbandingan laju alir diperoleh konsentrasi TSP yang terjerap sebanyak 0,073 µg/m³, dengan fotodioda sebagai fotodetektor.

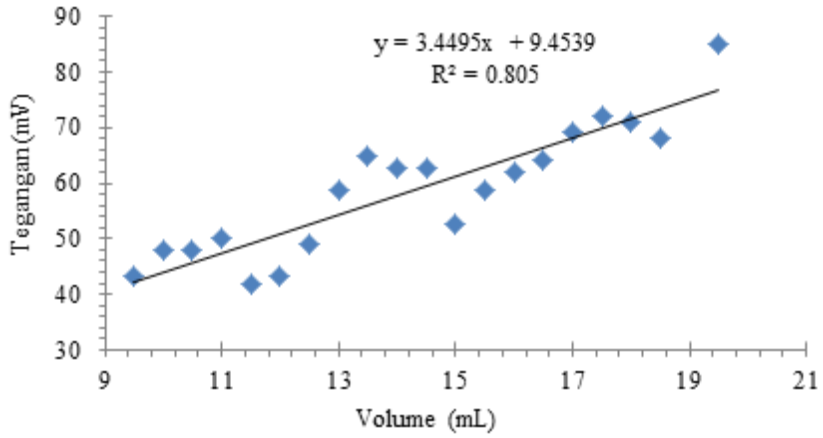
Jerapan TSP yang diperoleh diencerkan, untuk mendapatkan nilai transmisi cahaya dan nilai konsentrasi saat pengenceran. Intensitas transmisi cahaya yang diterima spektrofotometer saat pengenceran berupa kurva fenomena PPB pada daerah PBG, ditunjukkan pada Gambar 7. Intensitas transmisi cahaya yang diterima fotodetektor dihubungkan terhadap penambahan akuades ditunjukkan pada Gambar 8. Tegangan yang dihasilkan oleh fotodioda dari transmisi cahaya yang diterimanya saat pengenceran ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 7 Spektrum transmisi sampel pada daerah PBG (saat pengenceran)



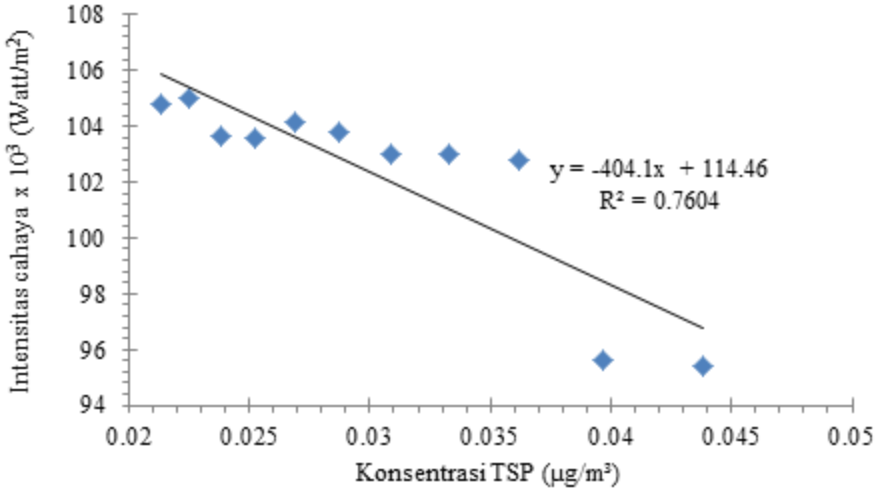
Gambar 8 Kurva intensitas transmisi cahaya yang diterima spektrofotometer terhadap penambahan akuades



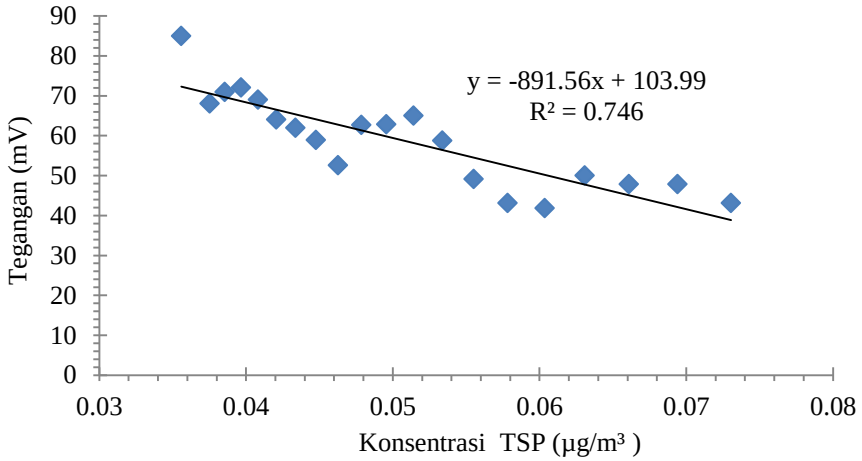
Gambar 9. Kurva tegangan keluaran fotodioda terhadap penambahan akuades

Gambar 8 dan Gambar 9, memperlihatkan bahwa intensitas transmisi cahaya terendah diperoleh sebelum penambahan akuades ke dalam jerapan. Hal ini karena partikulat-partikulat yang berada di dalam jerapan menyerap cahaya yang mengenainya sehingga yang dilewatkan sedikit. Berdasarkan kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan akuades maka terjadi peningkatan intensitas cahaya yang diterima oleh fotodetektor.

Penambahan akuades mengakibatkan konsentrasi TSP yang berada di dalam jerapan semakin sedikit. Konsentrasi pengenceran diperoleh dari perbandingan volume jerapan sebelum penambahan akuades dengan sesudah penambahan akuades terhadap konsentrasi awal jerapan. Konsentrasi pengenceran dihubungkan terhadap intensitas transmisi cahaya yang mampu melewati jerapan, ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Kurva intensitas transmisi cahaya yang diterima spektrofotometer terhadap konsentrasi TSP



Gambar 11 Kurva tegangan keluaran fotodioda terhadap konsentrasi TSP

Pada kurva pengenceran, kenaikan intensitas cahaya yang diterima fotodetektor tidak stabil, karena campurannya tidak homogen. Partikulat-partikulat yang sudah dijerap diduga

menghamburkan cahaya. Gelombang cahaya yang menumbuk suatu permukaan medium transparan pada umumnya akan dipantulkan sebagian dan sebagian lagi dibiaskan. Dari sifat optik partikulat, partikulat dapat mempengaruhi sinar dan menyebabkan pembiasan [5]. Dapat diduga juga karena kepekaan dari sensor dan gangguan sistem lingkungan.

Hasil analisis regresi linear dari kurva pengenceran konsentrasi terhadap intensitas transmisi cahaya yang diterima spektrofotometer sebagai fotodetektor menunjukkan nilai sensitivitas sebesar 401,1 (10^3 Watt/m^2)/(µg/m^3) dengan koefisien determinasi 76,0% pada selang konsentrasi 0,0213 - 0,0438 µg/m^3. Fotodioada sebagai fotodetektor diperoleh nilai sensitivitasnya sebesar 891,5 mV/(µg/m^3) dengan koefisien determinasi 74,6% pada selang konsentrasi 0,0356 - 0,0730 µg/m^3. Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukan hubungan antara perubahan konsentrasi TSP yang terjerap terhadap intensitas transmisi cahaya yang diterima oleh fotodetektor adalah berbanding terbalik. Semakin banyak TSP yang terjerap maka intensitas transmisi cahaya yang diterima fotodetektor semakin sedikit, demikian pula sebaliknya.

4 KESIMPULAN

Hasil karakterisasai spektrometri, menunjukkan penurunan transmitansi pada kenaikan konsentrasi TSP yang dijerap, tetapi tidak menunjukkan absorbansi pada panjang gelombang tertentu. Pengukuran TSP menggunakan sensor kristal fotonik satu dimensi selama satu jam dengan laju alir 0,4 Liter/menit dapat dideteksi oleh fotodetektor dengan sensitivitas 401,1 (10^3 Watt/m^2)/(µg/m^3) melalui deteksi intensitas transmisi cahaya. Kalibrasi sensor didapatkan dengan menghubungkan data perubahan intensitas dari saat pengenceran terhadap perubahan konsentrasi pengenceran. Koefisien determinasi yang didapatkan dari hasil kalibrasi sensor kristal fotonik satu dimensi adalah hingga 76,0 %.

DAFTAR PUSTAKA

[1] [Depkes] Departemen Kesehatan. 2010. Parameter Pencemar Udara dan Dampaknya terhadap Kesehatan. Jakarta: Depkes.

[2] Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999, tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

[3] Alias M, Hamzah Z, Kenn LS. 2007. *PM_{10} and Total Suspended Particulates (TSP) Measurements in Various Power Stations*. The Malaysian Journal of Analytical Sciences 11: 255-261.

[4] Pudjiastuti, W. 2002. Debu sebagai Bahan Pencemar yang Membahayakan Kesehatan Kerja. Pusat Kesehatan Kerja Depkes RI. Jakarta.

[5] Fardiaz, S. 1992. Polusi Air dan Udara. Yogyakarta: Kanisius.

[6] [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2005. Tentang Udara ambien – Bagian 3: Cara uji partikel tersuspensi total menggunakan peralatan high volume air sampler (HVAS) dengan metoda gravimetrik. SNI 19-7119.3-2005. Jakarta : BSN.

[7] Alatas H. OptIPB Sensor, Sensor Optik Berbasis Kristal Fotonik Satu Dimensi. 27 Maret 2010. Web. 7 Mei 2010. <http://alatas.staff.ipb.ac.id/2010/03/27/optip/>.

[8] Bahtiar A. 2007. Kristal Fotonik Nonlinear untuk Aplikasi *All-Optical Switching* [Laporan akhir *research grant*]. Bandung : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Kementerian Pendidikan Nasional sebagai penyalur Beasiswa Unggulan Terpadu. Kami juga mengucapkan terima kasih atas dukungan dari seluruh staf Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) selama penelitian.

Poster

EFFECT OF BENZYL ADENIN AND THIDIAZURON ON SHOOT MULTIPLICATION OF ST. JOHN'S WORT (*Hypericum perforatum) IN VITRO*

Sitti Fatimah Syahid
Indonesian Medicinal and Aromatic Crops Research Institute
ifa_sy@yahoo.co.id

ABSTRACT

St. John's Wort (*Hypericum perforatum*) is one of medicinal plants which have potential to be developed. The herbal plant is commonly used as anti depressant and against insomnia. Conventionally this plant was mainly propagated through separated shoots. For supporting plant propagation, one of the alternatives is a rapid mass propagation system through *in vitro* culture. A research on the 'effect of Benzyl Adenin and Thidiazuron on shoots multiplication of St. John's wort *in vitro*' was conducted in Tissue Culture Laboratory, at Indonesian Medicinal and Aromatic Crops Research Institute, Bogor from February until July 2007. Sterile shoots *in vitro* were used as explants. They were aseptically placed on MS (Murashige and Skoog) basal medium containing 3% sucrose and 0.8% bacto agar. The medium was supplemented with various concentrations of benzyl Adenin/thidiazuron (0; 0.1; 0.3; 0.5 & 0.7 mg/l). The experiment was conducted with randomized design with ten replications. The parameters observed were the number of shoots, the number of roots and the shoot length in eight weeks. The results showed that the use of Benzyl Adenin at 0.1 mg/l produced the greatest and normal shoots. The concentration of Thidiazuron did not effective plant's multiplication *in vitro*.

Key words: St. John's wort(*Hypericum perforatum*), shoot multiplication, *in vitro*, Benzyl Adenin, Thidiazuron

1 INTRODUCTION

St. John's Wort (*Hypericum perforatum*) is one of medicinal plants belongs to Clusiaceae family. This plant can be found in Europe, North America, Russian, India and China [1]. The main chemical compound of St.John's Wort is hypericin. Hypericin is an active compound which could inhibit the activities of serotonin and monoamine oxidase. These chemical acts like a depressant in human body. This is plant commonly used as anti depressant and against insomnia.

Conventionally, St. John's Wort was propagated by separated shoots. This technique was not effective because it's taking a long time to produce a new planting material. For

supporting plant propagation in producing rapid planting material, the *in vitro* method is one of the alternatives.

The success of plant multiplication by the *in vitro* technique was influenced by the ratio of growth hormones (cytokinin/auxin) applied [2, 3]. Benzyl Adenin was the common cytokinin used in plant propagation *in vitro* [4,3]. On the other hands, thidiazuron was also used in plant propagation, especially in woody plant [5,6].

The aim of the research was to evaluate the effect of Benzyl Adenin and Thidiazuron on the shoots multiplication of St. John's wort *in vitro*.

2 METHODS

The research was conducted in the Tissue Culture Laboratory at Indonesian Medicinal and Aromatic Crops Research Institute Bogor from February until July 2007. Sterile shoots *in vitro* were used as explants. They were aseptically placed on an MS (Murashige and Skoog) basal medium containing 3 % sucrose and 0.8 % bacto–agar. The medium was supplemented with various concentration of BA and thidiazuron (0.0; 0.1; .0.3; 0.5 and 0.7 mg/l), and adjusted to pH 5.8 before autoclaving at 121°C for 20 minutes. The cultures were incubated at 25 ± 1° C under cool-white light with a 16-h photoperiod. The experiment was arranged as a completely randomized design with ten replications. The parameters observed were the number of shoots, the number of roots and the shoot length in eight weeks.

3 RESULT AND DISCUSSION

3.1 Number of shoots

All of the concentrations of Benzyl Adenin applied produced number of shoots which did not significantly differ from each other (Figure 1). But, the lowest concentration (0.1mg/l) produced the normal shoots (Table 1) (Figure 2). Thidiazuron did not have an effect on shoots multiplication and tended to show the rosette culture performance.

Table 1 Effect of Benzyl Adenin and Thidiazuron on the number of shoot 8 weeks after treatment

Treatment (mg/l)	Number of shoots	Culture performance
Control	1.71 b	Normal
Benzyl Adenin 0.1	39.29 a	Normal
Benzyl Adenin 0.3	34.00 a	Rosette growth
Benzyl Adenin 0.5	38.00 a	Rosette growth
Benzyl Adenin 0.7	45.71 a	Totally rosette in growth, calli above the stem
Thidiazuron 0.1	10.00 b	Totally rosette in growth, calli above the stem
Thidiazuron 0.3	4.57 b	Totally rosette in growth, calli above the stem
Thidiazuron 0.5	2.86 b	Totally rosette in growth, calli above the stem
Thidiazuron 0.7	2.86 b	Totally rosette in growth, calli above the stem

Note : Numbers followed by the same letters was not significantly different at 5 % DMRT.

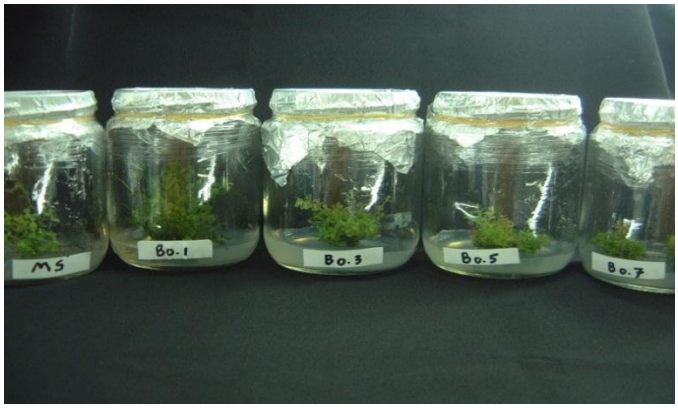


Figure1 Shoots of St. John's wort *in vitro* obtained from various concentrations of Benzyl Adenin

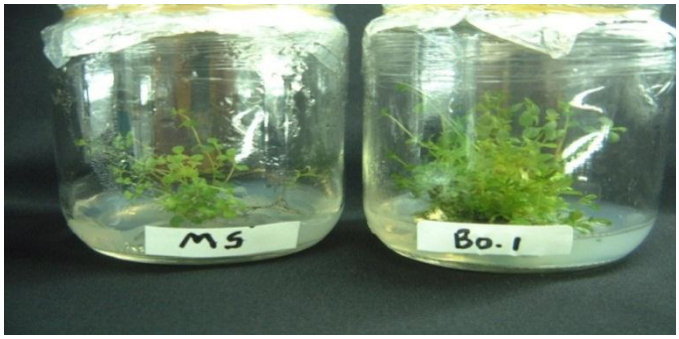


Figure 2 Shoots obtained on an MS medium (left) and with addition of 0.1 mg/l BA (right).

Similar results were reported in Cardamon (*Eletaria cardamomum) in vitro,* which shoots multiplication *in vitro* produced by using at low concentration of Benzyl Adenin [7]. Increasing the Benzyl Adenin concentration tended to decrease the number of shoots.

On the other hands, all of the concentrations of thidiazuron supplemented into the media showed the abnormal shoots performance/rossette (Table 1). Compared to Benzyl Adenin thidiazuron did not have an effect on St John's wort *in vitro* because it tended to produce the calli on the basal of stem. Futhermore,the shoots changed into the necrosis calli (Figure 3).

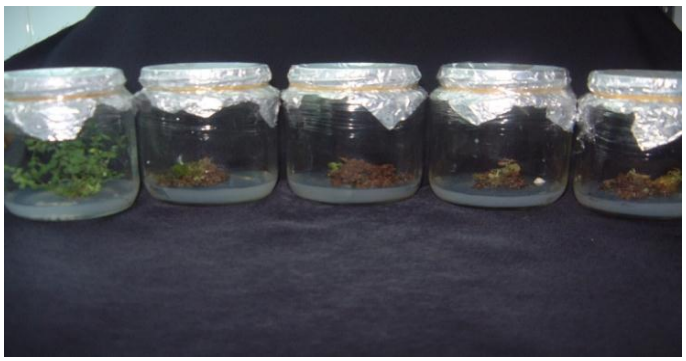


Figure 3 The effect of thidiazuron on shoots performance of St. John's wort *in vitro*

3.2 Shoot Length and number of leaves

The application of 0.1 mg/l benzyl Adenin showed the longest shoots and greatest leaves and did not significantly differ from control (Table 2).

Table 2 Effect of Benzyl Adenin and Thidiazuron on shoot length and number of leaves, 8 weeks after treatment

Treatment (mg/l)	Shoot length (cm)	Number of leaves/shoots
Control	3.29 a	7.57 a
Benzyl Adenin 0.1	3.00 a	7.0 ab
Benzyl Adenin 0.3	1.29 a	6.14 ab
Benzyl Adenin 0.5	0.66 b	4.43 bc
Benzyl Adenin 0.7	0.47 b	3.29 c
Thidiazuron 0.1	1.07 b	6.00 ab
Thidiazuron 0.3	1.0 b	6.29 ab
Thidiazuron 0.5	0.64 b	5.14 abc
Thidiazuron 0.7	0.64 b	5.43 abc

Note : Numbers followed by the same letters was not significantly different at 5 % DMRT.

The use of Benzyl Adenin at the lower concentration (0.1 mg/l) could increase the rate of cell elongation and number of leaves compared with the other concentration but did not significantly differ from control and addition of 0.3 mg/l BA. Increasing BA in the higher concentration (0.5 – 0.7 mg/l) tended to decrease the shoots lengths and also the leaves production.

Addition of the exogen growth regulator could influence the ratio cytkinin/auxin in the medium [2, 8]. On the other hand, thidiazuron supplemented into the medium produced the rossette shoots on all their concentrations applied. Presumably, thidiazuron could induce the production of endogen etilen in plant tissue [9]. Etilen could inhibit the stem elongation especially on dicotyl [10]. Similar results were reported in apple (*Malus* x *domestica* Borkh.) [11]. Both Benzyl Adenin and Thidiazuron on various concentrations could not induce the root in this treatment.

4 CONCLUSSION

The addition of 0.1 mg/l Benzyl Adenin performed the normal shoots. Increasing the concentration of BA (0. 3 – 0.7 mg/l) showed the abnormal growth. All of the concentration of Thidiazuron did not show any effect on plant multiplication *in vitro*.

REFFERENCES

[1] Barnes. J. Anderson L.A and Phillipson.J.D. 2002. Herbal medicines: *A guide for healthcare professionals.* (2*ed*.). London. Pharmaceutical Press.

[2] George. E. F and P.D Sherrington. 1984. Plant propagation by tissue culture.Exegetics Ltd,BA 134QG,. England. 709p.

[3] George. E. F. 1993. Plant propagation by tissue culture. Part I. The Technology. Edington. Wilts. Exegetics Ltd.BA 134QG. England.

[4] Bhojwani, S, S and M.K. Razdan, 1996. Plant Tissue Culture. Theory and Practice, a revised Edition, Elsevier, Amsterdam.767p.

[5] Chen. Y and Piluek Ch.1995. Effect of thidiazuron and *N*-6 Benzilaminopurine on shoot regeneration of Phalaenopsis. Plant Growth Regulation 16: 99-1-1.

[6] Lu, 1993. The use of Thidiazuron in Tissue Culture. In vitro Cell. Dev. Biol 29P. 92-96.

[7] Husni. A., R. Purnamaningsih and D. Sukmadjaja. 1994. Pengaruh pemberian zat pengatur tumbuh (BAP.kinetin dan NAA) terhadap pertumbuhan kapolaga (*Eletaria cardamomum*) secara *in vitro*. Medkom Litbangtri 14 : 58-62.

[8] Thao. N.T.P., Y. Ozaki and H. Okubo. 2003. Callus induction and plantlet regeneration in ornamental *Alocasia micholitziana*. Plant cell. Tissue and Organ Culture 73: 285-289.

[9] Suttle. J.C. 1985. Involvement of ethylene in the action of the cotton defoliant thidiazuron. Plant Physiol 78: 272-276.

[10] Salsbury. B. Frank dan Ross.C.W. 1998. Fisiologi Tumbuhan. Jilid 3. Penerbit Institut Teknologi Bandung. Bandung.

[11] Sarwar. M. Skirvin. M.. Kushad and M.A. Norton. 1998. Selecting dwarf apple (*Malus* x *domestica* Borkh) tress *in vitro* : multiple cytokinin tolerance expressed among three strains of " McIntosh' that differ in their growth habit under field conditions. Plant Cell Tissue and Organ Culture 54: 71-76.

BIOINSEKTISIDA *Bacillus thuringiensis* : PENGARUHNYA TERHADAP INDEKS NUTRISI LARVA INSTAR V *Spodoptera litura* Fabr. (LEPIDOPTERA : NOCTUIDAE)

Trisnowati Budi Ambarningrum
Laboratorium Entomologi-Parasitologi Fakultas Biologi
Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto
e-mail : trisnowatibudi@yahoo.com

ABSTRAK

Larva *Spodoptera litura* Fabr. merupakan salah satu serangga yang berpotensi sebagai hama berbagai macam tanaman. Salah satu cara pengendaliannya adalah dengan memanfaatkan bakteri *Bacillus thuringiensis* sebagai agensia pengendalian hayati. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat indeks nutrisi larva instar V *S. litura* yang terdedah pakan mengandung *B. thuringiensis*, yang meliputi indeks konsumsi (CI), laju pertumbuhan (GR), efisiensi konversi pakan yang dicerna (ECD), efisiensi konversi pakan yang dimakan (ECI), serta perkiraan pakan yang dicerna (AD). Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap, dengan lima perlakuan, yaitu konsentrasi $3.25x10^6$, $4x10^6$, $6x10^6$, $7.25x10^6$ sel/ml, serta kontrol. Masing-masing perlakuan menggunakan larva instar V yang diperlakukan secara individual. Data dianalisis menggunakan analisis ragam dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua konsentrasi isolat *B. thuringiensis* mempengaruhi laju konsumsi, laju pertumbuhan, nilai ECI, serta nilai AD larva uji, yang ditunjukkan dengan menurunnya laju konsumsi, laju pertumbuhan, ECI, serta AD larva uji. Semua konsentrasi secara statistik tidak mempengaruhi nilai ECD larva uji, meskipun nilai ECD larva uji telihat cenderung mengalami penurunan. Konsentrasi efektif yang menyebabkan indeks nutrisi larva uji menurun adalah konsentrasi $6x10^6$ sel/ml.

Kata kunci : Bioinsektisida, *Bacillus thuringiensis*, indeks nutrisi, *Spodoptera litura*

1 PENDAHULUAN

Larva *Spodoptera litura* merupakan serangga polifagus yang menyerang banyak jenis tanaman pertanian. Stadium larvanya dilaporkan menyerang daun tanaman kedelai, kacang tanah, cabe, tomat, kentang, kubis, dan tembakau [5]. *S. litura* menyerang tanaman kedelai mulai bibit, masa pertumbuhan, bahkan sampai pengisian polong. Kehilangan hasil kedelai akibat serangan larva *S. litura* ini dapat mencapai 80% [1].

Pengendalian *S. litura* harus dilakukan secara intensif, karena disamping sifat polifagnya, perkembangan larva serangga tersebut juga cukup cepat dan fekunditasnya cukup

tinggi. Pengendalian *S. litura* menggunakan insektisida sintetis mempunyai banyak kelemahan dan efek samping, salah satunya dapat menyebabkan terjadinya perubahan ekosistem yang tidak menguntungkan bagi makhluk hidup. Efek samping yang lain adalah resurjensi, resistensi, dan keracunan pada pengguna pestisida, binatang peliharaan, organisme bukan sasaran, serta pencemaran lingkungan dengan adanya residu insektisida sintetik [2]. Oleh sebab itu perlu metode pengendalian hama yang lebih aman dan murah, antara lain menggunakan agen hayati. Salah satunya adalah menggunakan *Bacillus thuringiensis.*

B. thuringiensis merupakan bakteri entomopatogen yang dapat membunuh serangga hama, karena pada saat sporulasi dalam tubuh serangga akan membentuk kristal yang mengandung protein beracun bagi serangga hama. *B. thuringiensis* sangat efektif untuk mengendalikan serangga hama dari ordo Lepidoptera, Diptera, dan Coleoptera [3]. *B. thuringiensis* mempunyai aktivitas larvasidal, yang dapat membunuh serangga uji antara lain larva *Bombyx mori* dan larva *Aedes aegypti* [4]. *B. thuringiensis* merupakan komponen penting yang sangat potensial dalam system pengelolaan hama terpadu, karena mempunyai toksisitas yang rendah terhadap organism bukan sasaran (Trumble *dalam* [5]*).*

Meskipun telah banyak penelitian mengenai *B. thuringiensis*, namun kebanyakan penelitian tersebut hanya untuk melihat konsentrasi yang efektif yang dapat menyebabkan mortalitas yang tinggi dari serangga uji, sedangkan bagaimana pengaruhnya yang spesifik seperti misalnya pengaruhnya terhadap indeks nutrisi serangga uji belum banyak dilaporkan. Pengukuran indeks nutrisi penting untuk diketahui, karena menggambarkan pola pemanfaatan makanan dari serangga uji.

2 METODOLOGI

Bahan utama yang digunakan adalah larva *S. litura*, *B. thuringiensis*, dan pakan buatan. Metode yang digunakan mengacu pada metode gravimetri [6]. Pada awal pengujian disiapkan pakan buatan dengan lima macam konsentrasi perlakuan termasuk kontrol. Konsentrasi tersebut adalah 0, 3.25×10^6, 4×10^6, 6×10^6, dan 7.25×10^6 sel/ml.

Perlakuan diawali dengan menimbang larva tersebut untuk mengetahui berat basah awal, kemudian larva ditempatkan secara individual dalam vial, dengan satu potong pakan buatan yang mengandung *B. thuringiensis* dengan konsentrasi tertentu dan yang telah diketahui berat basah awalnya. Pengamatan dilakukan setiap 24 jam sekali dan perlakuan

diakhiri pada saat larva mencapai tahap instar V akhir, yang ditandai dengan berhentinya aktivitas makan. Selanjutnya larva, sisa pakan, dan feses dari masing-masing vial dibungkus kertas aluminium, untuk dikeringkan dalam oven bersuhu 60°C sampai mencapai berat kering yang konstan.

Berat kering awal pakan yang diberikan untuk setiap perlakuan dan berat kering awal larva dihitung dengan mengeringkan sepuluh buah aliquot pakan buatan untuk setiap kelompok konsentrasi perlakuan yang digunakan dan sepuluh ekor larva instar V yang baru ganti kulit dan belum makan (aliquot larva). Pengeringan dilakukan di dalam oven bersuhu 60°C, sampai dicapai berat kering yang konstan. Dengan demikian berat kering awal pakan buatan yang digunakan untuk setiap perlakuan dapat dihitung dengan mengalikan rata-rata berat kering awal pakan (aliquot pakan) dengan berat basah awalnya. Berat kering awal larva dihitung dengan mengalikan rata-rata berat kering awal larva (aliquot larva) dengan berat basah awalnya.

Jumlah makanan yang dikonsumsi larva selama periode makan dapat dihitung dengan mengukur selisih antara berat kering awal pakan dengan berat kering sisa pakan. Pertambahan berat larva yang diperoleh selama perlakuan diperoleh dari pengurangan berat kering larva setelah perlakuan dengan berat kering awal larva.

Respon kompensasi larva uji terhadap adanya *B. thuringiensis* dalam pakan buatan dapat dihitung dengan metode gravimetri dari [6], dengan rumus sebagai berikut:

1. Laju pertumbuhan (*Growth Rate*/GR)

   GR = G / T (g /hari)
2. Laju konsumsi (*Consumption Rate*/CR)

   CR = F / T (g /hari)
3. Efisiensi konversi pakan yang dicerna (*Efficiency of Conversion of Digested food* / ECD)

   ECD = G / (F-f) x 100%
4. Efisiensi konversi pakan yang dimakan (*Efficiency of Conversion of Ingested food* / ECI)

   ECI = G / F x 100%
5. Perkiraan pakan yang dicerna (*Approximate Digestibility*/ AD)

   AD = (F-f) / F x 100%

Keterangan :

G : Pertambahan berat larva selama periode makan, diperoleh dari pengurangan berat kering akhir larva dengan berat kering awal larva.

F : Jumlah pakan yang dikonsumsi, diperoleh dari pengurangan berat kering awal pakan dengan berat kering akhir pakan.

f : Berat kering feses.

T : Lamanya waktu makan.

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL), dengan lima konsentrasi sebagai perlakuan, yaitu konsentrasi $3.25x10^6$, $4x10^6$, $6x10^6$, $7.25x10^6$ sel/ml, serta kontrol . Masing-masing konsentrasi menggunakan lima belas ekor larva yang diperlakukan secara individual. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis ragam dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pemberian *B. thuringiensis* dalam pakan buatan terhadap indeks konsumsi (CI) dan laju pertumbuhan (GR) larva instar V *S. litura* tersaji dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Indeks konsumsi (CI) dan laju pertumbuhan (GR) larva instar V *S. litura* akibat pemberian pakan yang mengandung *B. thuringiensis*

Kons. (sel/ml)	CI (g/hari)	GR (g/hari)
0	0.266 a ± 0.061	0.011 a ± 0.003
3.25×10^6	0.169 b ± 0.061	0.007 b ± 0.003
4×10^6	0.127 c ± 0.050	0.003 c ± 0.006
6×10^6	0.120 cd ± 0.059	0.001 cd ± 0.010
7.25×10^6	0.098 d ± 0.045	0.0002 d ± 0.003

Keterangan : Semua nilai rata-rata± SD. Nilai rata-rata dalam satu kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama, tidak berbeda nyata (ANOVA, dilanjutkan uji Duncan, pada $p<0.05$).

Hasil pengujian *B. thuringiensis* terhadap indeks konsumsi (CI) dan laju pertumbuhan (GR) larva instar V *S. litura* menunjukkan bahwa secara umum *B. thuringiensis* mampu menurunkan CI dan GR larva instar V *S. litura*. Penurunan CI semakin besar dengan meningkatnya konsentrasi *B. thuringiensis* yang diberikan. Persentase penurunan CI dari konsentrasi 3.25 x 10^6 sampai konsentrasi 7.25 x 10^6 (sel/ml) berturut-turut adalah 36.5, 52.3 54.8, dan 62.9%. Meskipun nilai CI pada konsentrasi 6 x 10^6 sel/ml dengan nilai CI sebesar 0.120 g/hari secara statistik tidak berbeda dibandingan nilai CI pada konsentrasi 4 x 10^6 dan 7.25 x 10^6 sel/ml. Pemberian *B. thuringiensis* pada pakan buatan juga memberikan pengaruh terhadap GR larva uji. Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *B. thuringiensis* yang diberikan semakin menurunkan GR larva uji. Secara statistik pemberian *B. thuringiensis* memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap GR larva uji, namun nilai GR pada konsentrasi 6 x 10^6 sel/ml dengan nilai GR sebesar 0.01 g/hari secara statistik tidak berbeda dibandingan nilai GR pada konsentrasi 4 x 10^6 dan 7.25 x 10^6 sel/ml. Persentase penurunan GR dari konsentrasi 3.25 x 10^6 sampai konsentrasi 7.25 x 10^6 (sel/ml) berturut-turut adalah 38.09, 68.57, 87.62, dan 98.09%.

CI digunakan untuk mengetahui gambaran tentang seberapa besar perbandingan antara jumlah pakan yang dikonsumsi per periode makan. Adanya *B. thuringiensis* dalam pakan yang dikonsumsi larva uji mengakibatkan perubahan pada kualitas pakan tersebut. Perubahan kualitas pakan ini menyebabkan larva uji melakukan respon kompensasi berupa penolakan makan yang pada akhirnya akan menurunkan CI larva uji. [7] mengatakan bahwa pada isolat *B. thuringiensis* yang efektif, pakan yang dikonsumsi oleh larva serangga jauh lebih utuh dibandingkan pakan kontrol. Menurut [8] larva serangga akan menurunkan jumlah pakan yang dikonsumsinya bila terdapat senyawa toksik dalam pakannya. Hal ini merupakan usaha serangga untuk mengurangi jumlah racun yang masuk ke dalam tubuhnya. Penurunan konsumsi makan terjadi juga pada penelitian [9] yang mengatakan bahwa terdapatnya *B. thuringiensis* dalam pakan yang dikonsumsi oleh *Lymantria dispar* (L) dapat menurunkan laju konsumsi serangga tersebut. Hal tersebut terjadi pula pada larva *Heliothis armigera* yang mengkonsumsi polong kedelai mengandung *B. thuringiensis*, yang hanya mengkonsumsi bagian permukaan polong kedelai saja, dan setelah itu tidak mau mengkonsumsi polong kedelai itu kembali [10]. Dikatakan lebih lanjut bahwa larva *H. armigera* mengkonsumsi pakan kembali apabila polong kedelai yang mengandung *B. thuringiensis* diganti dengan

polong yang segar, namun jumlah pakan yang dikonsumsi lebih sedikit dibandingkan dengan larva yang tidak terinfeksi *B. thuringiensis*.

Pemberian *B. thuringiensis* juga berpengaruh terhadap GR larva uji. Penurunan CI secara langsung berpengaruh terhadap GR larva, karena dengan menurunnya CI menyebabkan pemasukkan makanan yang diubah menjadi biomasa menjadi lebih sedikit. GR yang menurun disebabkan berat badan larva di bawah normal. Berat badan yang tidak normal mengakibatkan pertumbuhan larva menjadi abnormal pula. Larva menjadi lemas dan ukuran tubuh menjadi lebih kecil dari larva yang sehat, respon terhadap sentuhan berkurang, dan akhirnya mati. Kematian yang sama juga terjadi pada kumbang Colorado *Leptinotarsa decemlineata* yang terinfeksi *B. thuringiensis*. Bauer mengatakan bahwa setelah diberi perlakuan *B. thuringiensis*, imago yang berhasil sintas berat tubuhnya akan menurun dan hal tersebut merupakan penyebab tidak langsung terhadap mortalitas serangga.

Hasil penelitian pemberian *B. thuringiensis* dalam pakan buatan terhadap efisiensi konversi pakan yang dicerna (ECD), efisiensi konversi pakan yang dimakan (ECI), serta perkiraan jumlah pakan yang dicerna (AD) larva instar V *S. litura* tersaji dalam Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Efisiensi konversi pakan yang dicerna (ECD), efisiensi konversi pakan yang dimakan (ECI), serta perkiraan jumlah pakan yang dicerna (AD) larva instar V *S. litura* akibat pemberian pakan yang mengandung *B. thuringiensis*.

Kons. (sel/ml)	ECD (%)	ECI (%)	AD (%)
0	4.717 a ± 0.999	4.140 a ± 1.000	89.499 a ± 0.999
3.25×10^6	4.429 a ± 0.999	3.872 ab ± 1.076	87.729 a ± 0.999
4×10^6	4.297 a ± 0.999	3.241 ab ± 0.999	81.215 ab ± 1.023
6×10^6	3.559 a ± 0.999	2.196 ab ± 0.999	75.851 bc ± 0.999
7.25×10^6	0.849 a ± 1.000	0.424 b ± 1.000	67.909 c ± 1.000

Keterangan : Semua nilai rata-rata± SD. Nilai rata-rata dalam satu kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama, tidak berbeda nyata (ANOVA, dilanjutkan uji Duncan, pada $p<0.05$).

Konsentrasi *B. thuringiensis* dengan nilai ECD tertinggi adalah konsentrasi 3.25×10^6 sel/ml yaitu 4.429%, sedangkan nilai ECD terendah adalah konsentrasi 7.25×10^6 sel/ml yaitu 0.849%. Hasil analisis ragam menunjukkan nilai ECD tidak berbeda nyata. Meskipun

secara statistik tidak berbeda nyata, namun terlihat bahwa semakin besar konsentrasi maka nilai ECD juga semakin turun (Tabel 2). Penurunan nilai ECD berturut-turut dari konsentrasi 3.25 x 10^6 sampai konsentrasi 7.25 x 10^6 adalah 6.1, 8.9, 24.6, dan 82%.

Konsentrasi *B. thuringiensis* dengan nilai ECI tertinggi adalah konsentrasi 3.25 x 10^6 sel/ml yaitu 3.872%, sedangkan nilai ECI terendah adalah konsentrasi 7.25 x 10^6 sel/ml yaitu 0.424%. Penurunan nilai ECI berturut-turut dari konsentrasi 3.25 x 10^6 sampai konsentrasi 7.25 x 10^6 sel/ml adalah 6.5, 21.7, 46.9, dan 89.8%. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan dengan kontrol. Konsentrasi yang memperlihatkan perbedaan yang nyata adalah konsentrasi 7.25 x 10^6 sel/ml dengan nilai ECI sebesar 0.424%, sedangkan konsentrasi 3.25 x 10^6, 4 x 10^6, dan 6 x 10^6 sel/ml tidak menunjukkan perbedaan nyata dengan kontrol dan konsentrasi 7.25 x 10^6 sel/ml. Terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi *B. thuringiensis* maka nilai ECI semakin turun.

Konsentrasi *B. thuringiensis* dengan nilai AD tertinggi adalah konsentrasi 3.25 x 10^6 sel/ml yaitu 87.729%, sedangkan nilai ECI terendah adalah konsentrasi 7.25 x 10^6 sel/ml yaitu 0.424%. Penurunan nilai ECI berturut-turut dari konsentrasi 3.25 x 10^6 sampai konsentrasi 7.25 x 10^6 sel/ml adalah 1.98, 9.26, 15.25, dan 24.12%. Konsentrasi 3.25 x 10^6 dan 4 x 10^6 sel/ml terlihat berbeda nyata dengan kontrol, sedangkan konsentrasi 6 x 10^6 sel/ml terlihat tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 4 x 10^6 dan 7.25 x 10^6 sel/ml.

Pemberian *B. thuringiensis* dalam pakan yang dikonsumsi larva *S. litura* menyebabkan penurunan nilai ECD, ECI, dan AD seiring dengan meningkatnya konsentrasi yang diberikan. Menurunnya nilai ECD, ECI, dan AD larva uji menunjukkan adanya aktivitas insektisidal kristal protein *B. thuringiensis* dalam *mid gut* larva uji. Menurut aktivitas insektisidal kristal protein *B. thuringiensis* dalam *mid gut* serangga selain mempengaruhi aktivitas enzim protease dan pH saluran pencernaan juga mempengaruhi reseptor membran *midgut* serangga yang bersifat spesifik terhadap gen penyandi kristal protein.

Midgut merupakan saluran penceranaan bagian tengah serangga yang berfungsi dalam penyerapan zat-zat makanan. Kerentanan serangga akibat gangguan dari luar tergantung dari sehat atau tidaknya *midgut* serangga. Bagian *midgut* yang berperan penting dalam menjaga keutuhan sel-sel *midgut* dari mikroorganisme maupun abrasi partikel makanan yang masuk adalah membran peritrofik. Membran peritrofik erat kaitannya dalam proses pencernaan dan penyerapan zat-zat makanan (Granados & Corsaro *dalam* [11]).

Midgut pada serangga yang sehat akan mengoptimalkan fungsi dari membran peritrofik, sehingga proses pencernaan dapat berjalan dengan baik (Gullan & Cranston *dalam* [11]). Diduga kristal protein yang dihasilkan *B. thuringiensis* merusak membran peritrofik larva uji, sehingga aktivitas *mid gut* terganggu dan penyerapan zat-zat makanan menjadi terganggu. Pencernaan makanan yang tidak lancar menurunkan kebugaran larva, sehingga larva menjadi lemas dan menurunkan nafsu makan larva, sehingga menyebabkan penurunan indeks konsumsi (GI) larva uji.

Penurunan indeks konsumsi akibat rusaknya membran peritrofik juga terjadi pada larva instar V *Helicoverpa armigera* yang terinfeksi HaNPV. Kerusakan struktur membran peritrofik mulai terjadi pada jam ke 12 setelah terinfeksi dan kerusakan yang fatalterjadi pada jam ke 72 setelah infeksi dilakukan. Rusaknya struktur dan fungsi *midgut* menyebabkan tubuh serangga mengalami paralisis total dan akhirnya mati [12].

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah semua konsentrasi isolat *B. thuringiensis* yang diberikan menurunkan indeks nutrisi larva instar V *S. litura*, yang meliputi indeks konsumsi (CI), laju pertumbuhan (GR), efisiensi konversi pakan yang dicerna (ECD), efisiensi konversi pakan yang dimakan (ECI), serta perkiraan pakan yang dicerna (AD). Konsentrasi efektif isolat *B. thuringiensis* yang menyebabkan penurunan indeks nutrisi larva instar V *S. litura* adalah konsentrasi 7.25 x 10^6 sel/ml.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kusdiaman, D. dan Suharto, H. 1997. Jangkauan perangkap feromon seks untuk memantau ulat grayak (*Spodoptera litura* F.). Prosiding seminar nasional Biologi XV, Bandar Lampung, Juli 1997. 389-392.

[2] Anggoro, A., 2006. Bahan-bahan nabati yang dapat digunakan sebagai pengendali organisme pengganggu tanaman. Laboratorium pengamatan dan peramalan hama dan penyakit tanaman pangan dan hortikultura, Jatilawang.

[3] Aronson, A.I. and M.Geiser., 1992. Properties of *Bacillus thuringiensis* and its intracellular crystal protein *In* Doi, R.H. and Mc. Glouglin (eds.). Biology of Bacilli: Aplication to industry. Butterworth-heineman, Boston. 219-243.

[4] Hastowo, S.; B.W. Lay; and M.Ohba, 1992. Naturally ocuring *Bacillus thuringiensis* in Indonesia. J. of Applied Bacteriology 73:108-113.

[5] Meade, T. and J.D. Hare., 1993. Effect and differential host plant consumption by *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) on *Bacillus thuringiensis* efficacy. Departement of Entomology, University of California, Riverside, CA92521. 432-436.

[6] Waldbauer, G.P. 1968. The consumption and utilization of food by insect *In* J.W.L. Beament; J.E. Treherne; and V.B. Wigglesworth (eds.) Advances insect Physiology. Academic press, London. 229-288.

[7] Rusmana, I. 1990. Isolasi *Bacillus thuringiensis* Berliner dari tanah peternakan ulat sutera serta toksisitasnya terhadap *Crocidolomia binotalis* Zeller dan *Spodoptera litura* Fabricius. Skripsi Sarjana Biologi. Institut Petanian Bogor.

[8] Slansky, F. Jr. and J.M. Scriber., 1985. Food consumption and utilization *In* G.A. Kerkut & L.I. Gilbert (eds.). Comprehensive insect physiology, biochemistry, and pharmacology, Vol. 4. Pergamon press. 88-102.

[9] Farrar, R.R. and R.L. Ridgway, 1995. Feeding behavior of Gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) larvae on artificial diet containing *Bacillus thuringiensis*. Environ. Entomol 24(3):755-761.

[10] Trizelia. 1994. Infeksi *Bacillus thuringiensis* Berliner pada larva *Helicoverpa armigera* Hubner (Lepidoptera:Noctuidae) dan pengaruhnya terhadap konsumsi polong kedelai. Skripsi sarjana Biologi, Institut Pertanian Bogor.

[11] Utari, E. 2000. Pengaruh infeksi *HaNPV* terhadap kerusakan membrane peritrofik dan indeks nutrisi larva instar V *Helicoverpa armigera* Hubner. Tesis Magister. Institut Teknologi Bandung.

[12] Kurniasari, E.R. 1994. Toksisitas *Bacillus thuringiensis* asal Indonesia terhadap larva *Crocidolomia binotalis* (Zell) dan *Spodoptera litura* (F). Skripsi Sarjana Biologi. Institut Petanian Bogor.

Lampiran

Panitia Seminar Nasional Sains IV
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Pertanian Bogor

Penanggung Jawab Pengarah	: 1. Dr.drh. Hasim, DEA (Dekan FMIPA IPB) 2. Dr. KGS Dahlan (Wakil Dekan FMIPA IPB) 3. Prof. Dr.Yonny Koesmaryono (Ketua Senat FMIPA)
Ketua Pelaksana	: Dr. Akhiruddin Maddu
Sekretaris I	: Drs. Ali Kusnanto, M.Si (Kesekretariatan)
Sekretaris II	: Dr. Suryani (Bidang Peserta)
Bendahara dan Dana	: Dr. Dyah Iswantini
Perlengkapan, Pubdok & Promosi	: 1. Dr. Aris Tjahjoleksono (Koordinator) 2. Heriyanto Syaputra, M.Si 3. Faozan, MSi (Penanggung jawab Website)
Makalah dan Persidangan	: 1. Dr. Ence Darmo Jaya Supena 2. Dr. Miftahudin
Prosiding	: 1. Dr. Endar H. Nugraheni 2. Dr. Sri Mulijani 3. Drs. Ali Kusnanto, M Si.
Dewan Editor	: 1. Dr. Ence Darmo Jaya Supena (Biologi) 2. Dr. Miftahudin (Biologi) 3. Dr. Sri Mulijani (Kimia) 4. Dr. drh. Sulistiyani (Biokimia) 5. Dr. Kiagus Dahlan (Fisika) 6. Dr. Endar H. Nugraheni (Matematika)

JADWAL ACARA
SEMINAR NASIONAL SAINS IV
KAMPUS IPB DRAMAGA BOGOR, 12 NOVEMBER 2011

SESI PAGI (8.00 – 12.00)

PUKUL	KEGIATAN	TEMPAT
07.30-08.30	Registrasi Peserta Seminar Nasional Sains IV	Auditorium Sumardi Sastrakusumah, FPIK IPB
08.30-09.30	***Pembukaan Seminar dan Keynote Speech*** 1. Pembukaan oleh Rektor IPB 2. Keynote speech oleh Menteri Pertanian RI ***"Peran Sains dalam Peningkatan Produktivitas Pertanian"***	Auditorium Sumardi Sastrakusumah, FPIK IPB, Kampus IPB Dramaga
09.30-12.00	***Plenary session*** Moderator: Dr Ir Miftahudin Pembicara: 1. Dr. Ir. Rika Rafiudin (IPB) ***"Understanding Biodiversity Through Metagenomic Approach"*** 2. Prof. Dr. Usman Sumo F. Tambunan (UI) ***"Protein Engineering and Bioinformatics"*** Moderator: Dr. Akhiruddin 3. Dr. Hermawan K. Dipojono (ITB) ***"Computational Materials Design"*** 4. Prof. Dr. Ir. Rizaldi Boer (IPB) ***"Renewable Energy and Climate Change"***	Auditorium Sumardi Sastrakusumah, FPIK IPB, Kampus IPB Dramaga
12.00-13.00	Rehat dan makan siang serta sesi poster	Sholat (Masjid Al-Hurriyah)

SESI SIANG (13.00 – 15.00)

PUKUL	KEGIATAN	TEMPAT
13.00-14.45	Sesi Paralel dalam enam kelompok/ruang: 1. Paralel I (Biosains) Moderator: Dr . Ence Darmo J Supena 2. Paralel II (Biosains) Moderator: Dr. Dyah Iswantini 3. Paralel III (Kimia) Moderator: Dr . Suryani 4. Paralel IV (Matematika) Moderator: Dr . Endar H Nugrahani 5. Paralel V (Fisika 1) Moderator: Faozan, M.Si 6. Paralel VI (Fisika 2) Moderator: Dr . Tony Ibnu Sumaryada	1. Audit. Sumardi Sastrakusumah, IPB 2. RK 21 FPIK 2. RK 22 FPIK 3. RK 23 FPIK 4. RK 24 FPIK 5. RK 25 FPIK
14.45-15.15	Rehat (coffee/tea break) serta sesi poster	Sholat (Masjid Al-Hurriyah)
15.15-16.15	Sesi Paralel dalam enam kelompok/ruang: 1. Paralel I (Biosains) Moderator: Dr . Miftahudin 2. Paralel II (Biosains) Moderator: Dr . Dyah Iswantini 3. Paralel III (Kimia) Moderator: Dr . Suryani 4. Paralel IV (Matematika) Moderator: Drs. Ali Kusnanto, M.Si 5. Paralel V (Fisika 1) Moderator: Dr. Akhiruddin 6. Paralel VI (Fisika 2) Moderator: Heriyanto Syahfutra, M.Si	1. Audit. Sumardi Sastrakusumah, IPB 2. RK 21 FPIK 3. RK 22 FPIK 4. RK 23 FPIK 5. RK 24 FPIK 6. RK 25 FPIK
16.15-16.30	Penutupan	Auditorium Sumardi Sastrakusumah, IPB

Jadwal Presentasi Sesi Paralel
SEMINAR NASIONAL SAINS III 2010
Sabtu, 12 November 2011

Ruang Paralel 1 (Biosains 1): Auditorium Sumardi Sastrakusumah FPIK

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi I: Dr. Ence Darmo Jaya Supena			
13.00 - 13.15	Prima Kurniawaty, Andi Gunawan, Surjono Surjokusumo	Kajian Konsep Desain Taman dan Rumah Tinggal Tanggap Hemat Energi	BIO-01
13.15 - 13.30	Yiyi Sulaeman, D. Nursyamsi, Husnain, L. R. Widowati, D.Setyorini	PKDSS Plus: penghubung basis data tanah dan rekomendasi pemupukan. (*PKDSS Plus: linking soil database and fertilizer recommendation*)	BIO-02
13.30 - 13.45	Ellyzarti, dan Sri Gusniati	Potensi Kekayaan dan Keanekaragaman Jenis Paku-pakuan (*Pteridophyta*) di Gunung Betung Taman Hutan Raya Wan Abdurahaman Bandar Lampung	BIO-03
13.45 - 14.00	Herman	Pemilihan Varietas Cabe (*Capsicum annuum* L) Kering yang Bermutu Tinggi hasil kawin silang	BIO-04
14.00 - 14.15	Marjono, Hendarmawan dan Astri Sumiati	Model Pemanasan Global Berbasis Agroteknologi di Wilayah Malang Raya	BIO-05
14.15 - 14.30	Nita Ratna Sari, Aris Tri Wahyudi, Edi Husen	Pemanfaatan Rizobakteria Pelarut Fospat dalam Pemacuan Pertumbuhan Tanaman Kedelai di Rumah Kaca	BIO-06
14.30 – 14.45	Okyarni Nuzila, Herman, Wahyudi	Pemberian Pupuk Kompos Pelepah Sawit Terhadap Hasil Tanaman Jagung Manis (*Zea mays*.L)	BIO-07
14.45 - 15.15	I S T I R A H A T		

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi II: Dr. Miftahuddin			
15.15 - 15.30	Yulianty , Eti Ernawiati , Sri Wahyuningsih	Pemanfaatan Daun Kembang Sungsang (*Gloriosa superba*) dalam Upaya Mengendalikan Penyakit Antraknosa (*Colletotrichum capsici* (Syd.) Butler & Bisby) pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.)	BIO-08
15.30 - 15.45	Yulindra M. Numberi, Ferry F. Karwur, Jhubar C. Mangimbulude	Amplifikasi PCR kromosom Y dari beberapa suku di Papua dengan Penanda Molekur primer M9G	BIO-09
15.45 - 16.00	I GP Suryadarma	Efisiensi Pembuatan Biogas dan Pupuk dalam Satu Bak Penampung: Studi Kasus Kotoran Sapi di Desa Geluntung, Tabanan, Bali	BIO-10
16.00 - 16.15	Oslan Jumadi, Yusminah Hala, Abd.Muis, Andi Asmawati	Penurunan Emisi Gas *Nitrous Oxida* (N_2O) dan Laju Nitrifikasi pada Lahan Jagung (*Zea mays*) dengan Menggunakan Mimba (*Azadirachta indica*) Sebagai Bahan Penghambat Nitrifikasi	BIO-11

Ruang Paralel 2 (Biosains 2): RK 21 FPIK

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi I: Dr. Dyah Iswantini			
13.00 - 13.15	Setyadjit, D.A. Setyabudi, E. Sukasih and E.M. Lokollo	A Concept of Sustainable Tofu Industry by Linking it with Soybean Production in Indonesia	BIO-12
13.15 - 13.30	Setyadjit, E. D. Astuty and E. Sukasih	Effect of Crushing Method, and Storage Temperature on the quality of frozen Soursop Puree	BIO-13
13.30 - 13.45	Nurul Sumiasri	Variasi Tanaman di Lahan Pertanian dalam Upaya Intensifikasi Pertnian: Studi Kasus di Dua Desa Kecamatan Jenggawah, Jember	BIO-14
13.45 - 14.00	Dody Priadi	Pengaruh Penambahan *Glomus aggregatum* pada Enkapsulasi Benih Sengon (*Paraserianthes falcataria*)	BIO-15
14.00 - 14.15	Muhammad Wiharto	Analisis Vegetasi Pohon pada Berbagai Tipe Vegetasi Tingkat Aliansi di Hutan Sub Pegunungan Gunung Salak Bogor Jawa Barat	BIO-16
14.15 - 14.30	Yakub Hidayatullah, Aris Tri Wahyudi, Edi Husen	Granulasi dan Keefektivan Inokulan Rizobakteria Pemacu Tumbuh pada Tanaman Kedelai	BIO-17
14.30 - 14.45	Rina Nurlia Wati, Aris Tri Wahyud, Edi Husen	Formulasi dan Keefektivan Inkulan Rizobakteria Pemacu Tumbuh Bentuk Serbuk pada Tanaman Kedelai	BIO-18
14.45 - 15.15	I S T I R A H A T		

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi II: Dr. Dyah Iswantini			
15.15 - 15.30	Martha L. Lande, Yulianty , Rita Puspitasari	Keanekaragaman Tanaman Pisang (*Musa* spp.) di Kab. Pesawaran Propensi Lampung	BIO-19
15.30 - 15.45	Noor Febryani, Tarkus Suganda dan Sudarjat	Inventarisasi Penyakit Tanaman Padi Organik SRI di Kabupaten Tasikmalaya	BIO-20
15.45 - 16.00	Ali Husni dan Ifa Manzila	Peningkatan Ragam Genetik Tanaman Padi Gogo Untuk Meningkatkan Produktivitas dalam Upaya Mendukung Swasembada Berkelanjutan	BIO-21
16.00 - 16.15	Sri Suripti, Triadiati, Aris Tjahjoleksono	Uji Efektivitas Pupuk Organik dan Pupuk Hayati untuk Peningkatan Produktivitas Tanaman Jagung di Beberapa daerah	BIO-22

Ruang Paralel 3 (Kimia): RK 22 FPIK

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi I: Dr. Suryani			
13.00 - 13.15	Budi Untari, A. Hasyim, Setiawaty Yusuf	Potensi Sediaan Isolat Beta-Karyofilen dan Eugenol yang Diformulasi sebagai Atraktan Lalat Buah *Bactrocera* spp. (Diptera : Tephritidae)	KIM-01
13.15 - 13.30	Gustini Syahbirin, Catur Hertika, Djoko Prijono, Dadang	Potensi Minyak Atsiri Daun *Cinnamomum multiflorum* sebagai Insektisida Nabati Terhadap Ulat Kubis *Crocidolomia pavonana*	KIM-02
13.30 - 13.45	Herlina, Lentary Hutasoit	Pengaruh Senyawa Murni dari Pegagan *(Centella asiatica* (L.) Urban) Terhadap Fungsi Kognitif Belajar dan Mengingat dan Efek Toksisitas pada Mencit (*Mus musculus)* Betina	KIM-03
13.45 - 14.00	Syamsudin, Ros Sumarny, Partomuan Simanjuntak	Perbandingan Efek Hipoglikemik dari Beberapa Ekstrak Biji Petai Cina (*Leucaena leucocephala* (lmk)De Wit) pada Mencit yang Diinduksi Aloksan	KIM-04
14.00 - 14.15	Fahma Riyanti, Poedji Loekitowati H. Dan Rizki Muharrani	Pengaruh Pemanasan dan Penambahan Antioksidan BHT pada Minyak Biji Ketapang (*Terminalia catappa* Linn.) dan Kinetika Reaksi Oksidasi	KIM-05
14.15 - 14.30	Waras Nurcholis, Tyas Ayu Lestari, Th.a Pratiwi, Kartika	Aktivitas Antioksidan Sediaan Jamu dan Ekstrak Etanol Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.), Kunyit (*Curcuma longa* Linn.), dan Meniran (*Phyllanthus niruri* Linn.)	KIM-06
14.30 - 14.45	Noerhayati Rofi'ah	Sintesis Pektin Asetat sebagai Bahan Baku Membran dari Pektin pada Kulit Buah	KIM-07
14.45 - 15.15	I S T I R A H A T		

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi II: Dr. Suryani			
15.15 - 15.30	Dudi Tohir, Gustini Syahbirin, Akbar	Isolasi dan Identifikasi Golongan Flavonoid Daun Dandang Gendis (*Clinacanthus nutans*) Berpotensi sebagai Antioksidan	KIM-08
15.30 - 15.45	Dudi Tohir dan P.E. Wuyung	Sitotoksisitas Fraksi Aktif Biji Mahoni (*Swietenia mahagoni*) pada Sel Kanker Payudara T47D	KIM-09
15.45 - 16.00	Andi Mu'nisa, Halifah Pagarra, dan Andi Muflihunna	Uji Kapasitas Antioksidan Ekstrak Daun dan Flavonoid	KIM-10
16.00 - 16.15	Sitha Arilah Ichsan*, Syamsul Falah, Waras Nurcholis	Aktivity of Suren (*Toona sinensis* Merr.) Bark Extract as an Atioxidant and Antidiabetic with *In Vitor* Analysis	KIM-11

Ruang Paralel 4 (Matematika): RK 23 FPIK

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi I: Dr. Endar H. Nugrahani			
13.00 - 13.15	Mohammad Masjkur	Perbandingan Model Nonlinear Jerapan Fosfor	MAT-01
13.15 - 13.30	Sariyanto, Hadi Sumarno dan Siswandi	Model Multistate Life Table (*MSLT*) dan Aplikasinya dalam Bidang Pendidikan: Kausu Khusus di Kabupaten Sintang	MAT-02
13.30 - 13.45	M. Endro Prasetyo Toni Bakhtiar Farida Hanum	Perencanaan Strategik Rumah Sakit Melalui Efisiensi dan Optimasi Penggunaan Kamar Operasi	MAT-03
13.45 - 14.00	Ayu Meryanti G, Farida Hanum, Endar H. Nugrahan	Optimasi Portofolio Obligasi yang Terimunisasi dengan *Goal Programming*	MAT-04
14.00 - 14.15	Hari Agung, Karomatul Aulia	Data Warehouse dan Aplikasi OLAP Akademik Kurikulum Mayor-Minor Departemen Ilmu Komputer IPB Berbasis LINUX	MAT-05
14.15 - 14.30	Mutia Indah Sari	Pemodelan Harga Saham Menggunakan Generalisasi Model Wiener dan Model ARIMA	MAT-06
14.30-14.45	Ali Kusnanto, Nurrachmawati, Toni Bakhtiar	Pengaruh Waktu Penyimpanan Stok Modal pada Model Siklus Bisnis Kaldor-Kalecki	MAT-07
14.45 - 15.15	I S T I R A H A T		

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi II: Drs. Ali Kusnanto, MS.			
15.00 - 15.15	Hari Agung dan Windy Deliana Khairani	Pengembangan WebGIS Kampus IPB Darmaga	MAT-08
15.15 - 15.30	Farida Hanum, Rangga Nakasumi, Toni Bakhtiar	Penyelesaian *Rural Postman Problem* pada Graf Berarah dengan Metode Heuristik	MAT-09
15.30 - 15.45	Hari Agung, Baba Barus, Diar Shiddiq, Bambang H Trisasongko, La Ode Syamsul Iman, Auriza Akbar	Pengembangan Sistem Informasi Perkebunan (SCIBUN) menggunakan Free Open Source Software (FOSS)	MAT-10
15.45 - 16.00	Endar H. Nugrahani, Muhammad Syazali, Suritno	Penilaian Opsi *Put* Amerika dengan Metode Monte Carlo dan Metode Beda Hingga	MAT-11

Ruang Paralel 5 (Fisika 1): RK 24 FPIK

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi I: Faozan, M.Si			
13.00 - 13.15	R Dita Rahayu Budiarti, Mamat Rahmat, Irmansyah	Karakterisasi Sensor Kristal Fotonik Satu Dimensi untuk Pengukuran Gas Nitrogen Dioksida	FIS-01
13.15 - 13.30	Jajang Juansah, I Wayan Budiastra, Kiagus Dahlan, dan Kudang Boroseminar	Spektroskopi Impedansi Listrik Buah Jeruk Garut dan Sifat Fisika Kimianya	FIS-02
13.30 - 13.45	Irzaman, A. Arif, A. Kurniawan, M. N. Hilaluddin, J. Iskandar, D. Yosman	Penerapan Fotodioda Film Tipis $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ (BST) Sebagai Detektor Garis pada Robot *LINE FOLLOWER* Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535	FIS-03
13.45 - 14.00	Sitti Yani, Akhiruddin Maddu, Irmansyah	Efek Fotovoltaik Pada Persambungan Hibrid CdS dengan Campuran P3HT/Kitosan	FIS-04
14.00 - 14.15	Akhiruddin Maddu, Ujang Sudrajat, Mersi Kurniati	Sifat Optik Film ZnO Nanokristal yang Ditumbuhkan dengan Chemical Bath Deposition (CBD)	FIS-05
14.15-14.30	Tetty Kemala, Ahmad Sjahriza, Randi Abdur Rohman	Optimasi dan Evaluasi Mikrokapsul Ibuprofen Tersalut Paduan Poliasamlaktat−Lilin Lebah	FIS-06
14.30 - 14.45	Rani Chahyani, Gustan Pari, Kiagus Dahlan	Pembuatan dan Analisis Kualitas Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Aktivasi Uap dan Kalium Hidroksida	FIS-07
14.45 - 15.15	I S T I R A H A T		

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi II: Dr. Akhiruddin Maddu			
15.15 - 15.30	Charlena, Mohammad Yani, Eka NW	Pemanfaatan Konsorsium Mikroba dari Kotoran Sapi dan Kuda untuk Proses Biodegradasi Kotoran Limbah Minyak Berat	FIS-08
15.30 - 15.45	Irmansyah, I Deni, Akhiruddin	Aktivitas Fotokatalisis Nanokristal TiO_2 berdoping Cu Hasil Sintesis dengan Metode Sol-Gel	FIS-09
15.45 - 16.00	I. Aisyah, S. U. Dewi, K. Dahlan	Sintesis *β-Tricalcium Phosphate* dari Cangkang Telur Ayam di Udara Terbuka dengan Variasi Waktu Sintering	FIS-10

Ruang Paralel 6 (Fisika 2): RK 25 FPIK

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi I: Dr. Tony Ibnu Sumaryada			
13.00 - 13.15	Minarni, Dwiyana Yogasari, Zulfa	Optical Tweezers Sebagai Pemerangkap Partikel	FIS-11
13.15 - 13.30	Lutfi Mulyadi, Zaki Su'ud	Analsisi Burn-Up Reaktor Nuklir Cepat dengan Metode Runge Kutta Orde Empat	FIS-12
13.30 - 13.45	Diana Purwandari	Analisis Regresi Laten pada Efek Plasebo Menggunakan Algoritma EM	FIS-13
13.45 - 14.00	Lia Yuliawati, H.Alatas, A.D. Garnadi	Simulasi Simetrik *Waveguide* dengan Metode Galerkin	FIS-14
14.00 - 14.15	Tb Gamma N.R., Mersi Kurniati, Hendradi Hadrienata	Analisis Frekuensi Gelombang Ultrasonik Terhadap Radius Gelembung Kavitasi pada Sistem Cairan Kompresibel	FIS-15
14.15 - 14.30	Rina Ratianingsih dan Agus Indra Jaya	Identifikasi Model Konsumsi Gas CO_2 di Atmosfir Untuk Mendapatkan Interaksi Unsur-Unsur Utama Iklim yang Stabil	FIS-16
14.30-14.45	**Wahfuanah, Jaharuddin, Ali Kusnanto**	**Penyelesaian Model Infeksi HIV pada Sel Darah Putih (T CD4+) dengan Menggunakan Metode Perturbasi Homotopi**	FIS-17
14.45 - 15.15	I S T I R A H A T		

Waktu	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
Moderator Sesi II: Heriyanto Syahfutra, M.Si			
15.00 - 15.15	Tony Ibnu Sumaryada	Identifikasi Transisi Fasa Pada Sistem Mesoskopik Menggunakan *Invariant Correlational Entropy*	FIS-18
13.00 - 13.15	Arianti Tumanngor, Mamat Rahmat dan Akhiruddin Maddu	Karakterisasi Sensor Kristal Fotonik Satu Dimensi untuk Pengukuran *Total Suspended Particulate* (TSP)	FIS-19

Daftar POSTER

NO	PEMAKALAH	JUDUL MAKALAH	KODE
1	Sitti Fatimah Syahid	Effect Of Benzyl Adenin and Thidiazuron On Shoot Multiplication Of St. John's Wort (*Hypericum perforatum) In Vitro*	POS - 1
2	Trisnowati Budi Ambarningrum	Bioinsektisida *Bacillus thuringiensis*: Pengaruhnya Terhadap Indeks Nutrisi Larva Instar V *Spodoptera litura* Fabr. (Lepidoptera: Noctuidae)	POS - 2

DAFTAR PESERTA

Seminar Nasional Sains IV

"PERAN SAINS DALAM PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN"

Bogor, 12 November 2011

Daftar Undangan Khusus

No	Nama	Institusi
1	Prof. Dr.Yonny Koesmaryono	Wakil Rekor Bidang Akademik dan Kemahasiswaan (mewakili Rektor IPB)
2	Dr. Ir. Haryono, M Sc.	Keynote speech dari Kementrian Pertanian RI (Mewakili Menteri Pertanian RI)
3	Dr.drh. Hasim, DEA	Dekan FMIPA IPB
4	Dr. KGS Dahlan	Wakil Dekan FMIPA IPB
5	Prof. Dr. Usman Sumo F. Tambunan	Pembicara Utama dari Universitas Indonesia
6	Dr. Hermawan K. Dipojono	Pembicara Utama dari Institut Teknologi Bandung
7	Dr. Ir. Rika Rafiudin	Pembicara Utama dari IPB
8	Prof. Dr. Ir. Rizaldi Boer	Pembicara Utama dari IPB

Daftar Peserta Pemakalah

No	Nama	Institusi
1	Budi Untari	Jurusan Farmasi, FMIPA Universitas Sriwijaya
2	Gustini Syahbirin	Departemen Kimia, FMIPA IPB
3	Herlina	Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Sriwijaya
4	Lia Yuliawati	Departemen Fisika, FMIPA IPB
5	Minarni	Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Riau
6	Prima Kurniawaty	Arsitektur Landskap, Faperta IPB
7	Syamsudin	Bagian Farmakologi, Fakultas Farmasi Universitas Pancasila
8	Yiyi Sulaeman	BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian, Cimanggu, Bogor

9	Arianti Tumanngor	Departemen Fisika, FMIPA IPB
10	Charlena	Departemen Kimia, FMIPA IPB
11	Ellyzarti	Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Lampung
12	Fahma Riyanti	Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Sriwijaya
13	Herman	Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Riau
14	Marjono	Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya
15	Mohammad Masjkur	Departemen Statistika, FMIPA IPB
16	Nita Ratna Sari	Departemen Biologi FMIPA, IPB
17	Okyarni Nuzila	Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Riau
18	R Dita Rahayu Budiarti	Departemen Fisika, FMIPA IPB
19	Rina Ratianingsih	Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Tadulako, Palu
20	Wahfuanah	Universitas Wiralodra Indramayu
21	Yulianty	Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Lampung
22	Yulindra M. Numberi	Magister Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana
23	I GP Suryadarma	Jurusan Biologi, Univesitas Negeri
24	Oslan Jumadii	Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Negeri Makassar
25	Setyadjit	Indonesian Centre for Agriculture Postharvest Research and Development
26	Waras Nurcholis	Departemen Biokimia, FMIPA IPB
27	Nurul Sumiasri	PUSAT PENELITIAN BIOTEKNOLOGI, LIPI
28	Dody Priadi	Pusat Penelitian Bioteknologi, LIPI
29	Lutfi Mulyadi	Laboratorium Fisika Nuklir, FMIPA ITB
30	Muhammad Wiharto	Jurusan Biologi, FMIPA Univeristas Negeri Makassar
31	NoerhayatiI Rofi'ah	FMIPA IPB
32	Sariyanto, S.Pd	MTsN Sintang, Kalbar
33	Endar H. Nugrahani	Departemen Matematika, FMIPA IPB
34	Trisnowati Budi Ambarningrum	Fakultas Biologi Unsoed, Purwokerto
35	Ayu Meryanti G	Dept Matematika, FMIPA IPB
36	Hari Agung	Departemen Ilmu Komputer, FMIPA IPB
37	Sitti Fatimah Syahid	Indonesian Medicinal and Aromatic Crops Research Institute, Bogor
38	Diana Purwandari	Departemen Matematika, FMIPA IPB
39	Mutia Indah Sari	Institut Pertanian Bogor
40	Yakub Hidayatullah	Departemen Biologi, FMIPA IPB
41	Rina Nurlia Wati	Departemen Biologi, FMIPA IPB
42	Martha Lulus Lande	Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Lampung
43	Noor Febryani	IPB

44	Tony Ibnu Sumaryada	Bagian Fisika Teori, Departemen Fisikia, IPB
45	Dudi Tohir	Departemen Kimia, FMIPA IPB
46	Jajang Juansah	Departemen Fisika, FMIPA IPB
47	Sitha Arilah Ichsan	Department of Biochemistry, Mathematics and Science Faculty, Bogor Agricultural University
48	Irzaman	Departemen Fisika, FMIPA IPB
49	Sitti Yani	Departemen Fisika, FMIPA IPB
50	Akhiruddin Maddu	Departemen Fisika, FMIPA IPB
51	Andi Mu'nisa	Departemen Biologi, FMIPA Universitas Negeri Makassar
52	Ali Husni	Balai Besar Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian
53	Sri Suripti	Departemen Biologi, FMIPA, IPB
54	Tetty Kemala	Departemen Kimia, FMIPA IPB
55	Ali Kusnanto	Departemen Matematika, FMIPA IPB
56	Tb Gamma N.R	Departemen Fisika, FMIPA IPB
57	Farida Hanum	Departemen Matematika, FMIPA IPB
58	Rani Chahyani	Divisi Biofisika, Departemen Fisika, FMIPA IPB
59	M. Endro Prasetyo	Departemen Matematika, FMIPA IPB
60	Irmansyah	Departemen Fisika, FMIPA IPB
61	Agus Indra Jaya	Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Tadulako, Palu
62	Toni Bakhtiar	Departemen Matematika, FMIPA IPB
63	Berlian Setiawaty	Departemen Matematika, FMIPA IPB

Daftar Peserta NonPemakalah

No	Nama	Instansi Asal
1	Ahmad Zulkifli	Bogor, Jawa Barat
2	Atep D. Supardan	Program Diploma IPB
3	Ayu Setyawati	Universitas Mulawarman, Kalimantan Timur
4	Bahiyah	UIN Sunan Gunung Djati , Bandung
5	Budi Riza	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
6	Doni Fernando P	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
7	Dwi Subiyarti	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
8	Efriwati	Balitbang Kesehatan, Jakarta
9	Ennie Chahyadi	Universitas Riau, Riau
10	Eris Septiana	LIPI Cibinong, Jawa Barat
11	Erwin	Palembang, Sumatera Selatan
12	Eva Kristinawati Putri	Universitas Negeri Jawa Timu
13	Evi Alfiah Taukhid	Bogor, Jawa Barat
14	Fahri	Universitas Tandulako, Sulawesi Utara
15	Farly Reynol Tumimomor	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
16	Fitria Titi Mrilawati	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
17	Gina Dania Pratami	Universitas Lampung, Lampung
18	Gregorius Fallo	Universitas Timor, Kupang
19	Hafni Rahmadani	DKI Jakarta
20	Idawati Supu	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
21	Iddayati	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
22	Ike Apriayani	Universitas Sriwijaya, Palembang
23	Israwati Harahap	Rumbai Pekanbaru, Riau
24	Jani Master	Universitas Lampung, Lampung
25	Kemala S. Nagur	Badan POM RI, Jakarta
26	Kurniati	Makasar, Sulawesi Selatan
27	Lady Diana Tetelepta	Universitas Patimura, Ambon
28	Lenita	Balai Penelitian Tanah
29	Lestari Wilastra Umbara	Kota Baru, Jambi
30	Lisa Noviyanti	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
31	Lismayana Hansur	STIKES, YAPIKA Makasar
32	Lulut Dwi S	Pusat Penelitian Biologi,LIPI Jawa Barat
33	Maiyani	Fapet IPB
34	Masnur	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
35	Mega Tri Kurnia	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
36	Meliyanti	SMA I Bunut, Disdik Pelolawan, Riau
37	Muhammad Efendi	UIN Sunan Gunung Djati , Bandung
38	Netyyani Naipospos	Simpang Panam, Riau
39	Nicho Nurdebyandaru	Bogor – Jawa Barat
40	Novita Tri Artiningrum	Purwokerto
41	Nur Aisyah Nuzulia	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
42	Nur Qadri R.	Institut Pertanian Bogor

43	Nuroh Bawaihaty	Bogor, Jawa Barat
44	Otto Muzikarno	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
45	Rahayu Fitriani Wangsa Putrie	Purwokerto, Jawa Tengah
46	Raudhatul Fadilah	Universitas Muhamadiyah, Pontianak
47	Rendy Setiawan	Universitas Jember, Jawa Timur
48	Riri Novita	Akademi Analis Kesehatan Harapan Bangsa
49	Risa Aryantri	Pekanbaru, Riau
50	Riyandi	Tanjungpura, Kalimantan Barat
51	Rufai'ah Faisol Dzuraibak	Rembang, Jawa Timur
52	Saiful Khair	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
53	Sarah Nila	Bogor, Jawa Barat
54	Setyo Andi Nugroho	Jember, Jawa Timur
55	Sipriyadi	Universitas Bengkulu , Bengkulu
56	Siti Meliah	DKI Jakarta
57	Sri Bulan Musmiah	Makasar
58	Sugianto	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
59	Sujono	Laboratoriun Kimia Terpadu IPB
60	Surianty	FMIPA, Institut Pertanian Bogor
61	Tri Ratnasari	Jember, Jawa Timur
62	Tyas C K	Institut Pertanian Bogor
63	Ukit	UIN Sunan Gunung Djati , Bandung
64	Uning R	STIFAR Yayasan Farmasi Semarang (PTS)
65	Vendi Eko Susilo	Jember, Jawa Timur
66	Windarti Wahyuningtyas	Semarang, Jawa Tengah
67	Yessy Velina	Palembang, Sumatera Selatan

Ctt : Selain peserta di atas, Seminar juga dihadiri oleh Ketua-ketua Departemen di FMIPA atau yang mewakilinya dan perwakilan mahasiswa S1, S2, dan S3 dari beberapa Departemen di FMIPA IPB.