ISBN 978-602-8853-10-1
978-602-8853-11-8

PROSIDING
SEMINAR HASIL-HASIL PENELITIAN IPB 2010

Buku 1
Bidang Pangan dan Energi
Bidang Sumberdaya Alam dan Lingkungan
Bidang Biologi dan Kesehatan

PROSIDING

SEMINAR HASIL-HASIL PENELITIAN IPB 2010

Buku 1
Bidang Pangan dan Energi
Bidang Sumberdaya Alam dan Lingkungan
Bidang Biologi dan Kesehatan

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Institut Pertanian Bogor

SUSUNAN TIM PENYUSUN

Pengarah : 1. Prof. Dr. Ir. Bambang Pramudya Noorachmat, M.Eng
(Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat IPB)
2. Prof. Dr. Ir. Ronny Rachman Noor, M.Rur.Sc
(Wakil Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Bidang Penelitian IPB)

Ketua Editor : Dr. Ir. Prastowo, M.Eng

Anggota Editor : 1. Dr. Ir. Sulistiono, M.Sc
2. Prof. Dr. Ir. Bambang Hero Saharjo, M.Agr
3. Prof. Dr. drh. Agik Suprayogi, M.Sc.Agr

Tim Teknis : 1. Drs. Dedi Suryadi
2. Euis Sartika
3. Endang Sugandi
4. Lia Maulianawati
5. Muhamad Tholibin
6. Yanti Suciati

Desain Cover : Muhamad Tholibin

Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian IPB 2010,
Bogor 13-14 Desember 2010

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Institut Pertanian Bogor

ISBN : 978-602-8858-10-1
978-602-8858-11-8
Oktober 2011

KATA PENGANTAR

Salah satu tugas penting LPPM IPB adalah melaksanakan seminar hasil penelitian dan mendesiminasikan hasil penelitian tersebut secara berkala dan berkelanjutan. Pada tahun 2010, sekitar 331 judul kegiatan penelitian telah dilaksanakan. Penelitian tersebut dikoordinasikan oleh LPPM IPB dari beberapa sumber dana antara lain Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) IPB, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dikti), Kementrian Pertanian (Kementan) dan Kementrian Negara Riset dan Teknologi (KNRT) dimana sebanyak 201 judul penelitian tersebut telah dipresentasikan dalam Seminar Hasil Penelitian IPB yang dilaksanakan pada tanggal 13 – 14 Desember 2010 di Institut Pertanian Bogor.

Hasil penelitian tersebut sebagian telah dipublikasikan pada jurnal dalam dan luar negeri, dan sebagian dipublikasikan pada prosiding dengan nama Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian IPB 2010, yang terbagi menjadi 3 (tiga) buku yaitu :

Buku I	:	Bidang Pangan dan Energi Bidang Sumberdaya Alam dan Lingkungan Bidang Biologi dan Kesehatan
Buku II	:	Bidang Sosial dan Ekonomi
Buku III	:	Bidang Teknologi dan Rekayasa

Melalui hasil penelitian yang telah dipublikasikan ini, maka runutan dan perkembangan penelitian IPB dapat diketahui, sehingga *road map* penelitian IPB dan lembaga mitra penelitian IPB dapat dipetakan dengan baik.

Kami ucapkan terima kasih pada Rektor dan Wakil Rektor IPB yang telah mendukung kegiatan Seminar Hasil-Hasil Penelitian ini, para Reviewer dan panitia yang dengan penuh dedikasi telah bekerja mulai dari persiapan sampai pelaksanaan kegiatan seminar hingga penerbitan prosiding ini terselesaikan dengan baik.

Semoga Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian IPB 2010 ini dapat bermanfaat bagi semua. Atas perhatian dan kerjasama yang baik diucapkan terima kasih.

Bogor, Oktober 2011
Kepala LPPM IPB,

Prof.Dr.Ir. Bambang Pramudya N., M.Eng
NIP 19500301 197603 1 001

DAFTAR ISI

SUSUNAN TIM PENYUSUN ii

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI iv

DAFTAR JUDUL **Halaman**

BIDANG PANGAN DAN ENERGI

Pengembangan Produk Tepung Pisang Kaya Pati Resisten Sebagai Pangan Model Fungsional - *Betty Sri Laksmi Jenie, Harsi D. Kusumaningrum, Sri Widowati* 1

Aplikasi Marka RM223 Pada Introduksi Aroma Pandan Wangi Ke Varietas Nonaromatik Ciherang - *Djarot Sasongko Hami Seno, Tri Joko Santoso, Akhmad Endang Zainal Hasan, Bram Kusbiantoro, Zainal Alim Mas'ud* 13

Introduksi Toleransi Genangan Berbantuan Marka *Sub1* Pada Varietas Ciherang - *Djarot Sasongko Hami Seno, Satya Nugroho, Tri Joko Santoso, Zainal Alim Mas'ud* 24

Pengembangan Pisang Kepok Unti Sayang Melalui Penerapan Good Agricultural Practices (GAP) - *Mohamad Rahmad Suhartanto, Sobir, Heri Harti* 34

Ibm Usaha Pengolahan Susu Pasteurisasi dan Bio Yogurt Pt D-Farm Agriprima - *Rarah R. A. Maheswari, Zakiah Wulandari* 45

Karakteristik Bakteri Asam Laktat Indigenus Dadih Susu Kerbau Sebagai Kandidat Probiotik Pada Kondisi Saluran Pencernaan Secara *In Vitro* - *Rarah R. A. Maheswari* 56

Inaktivasi Enzim Lipase Untuk Stabilisasi Bekatul Sebagai Bahan *Ingredient* Pangan Fungsional - *Slamet Budijanto, Azis Boing Sitanggang, Sukarno, Bram Kusbiantoro* 73

Teknik Kendali Proses Produksi Minyak Sawit Merah Serta Aplikasinya Pada Beberapa Produk Pangan (*Cocoa Butter Equivalent*, Minuman Emulsi, Dan Mikroenkapsulat) - *Tien R Muchtadi, Nuri Andarwulan, Sugiyono* 91

BIDANG SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN

Fraksinasi Metil Ester Minyak Sawit Menggunakan *Fractional Distillation Reactor* untuk Menghasilkan Metil Ester Palmitat (C_{16}) Dominan - *Ani Suryani, Siti Mujdalipah, Ari Imam Sutanto, Jaelani* 107

Rehabilitasi Lahan Kritis Di Sekitar Tambang Emas Di Gunung Pongkor Melalui Kemitraaan Dengan Masyarakat Di Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor - *Asdar Iswati, Dyah Retno Panuju, Enni Dwi Wahjunie, Etty Kusumastuti* 117

Kandungan Karbon Pada Berbagai Macam Tipe Vegetasi Di Lahan Gambut Eks Plg Sejuta Ha Setelah 10 Tahun Terbakar (Tahun Kedua: Rehabilitasi Dengan Blocking Kanal) - *Basuki Wasis, Dadan Mulyana* 134

Efektivitas *Brachiaria*, Mikoriza Dan Kompos Jerami Padi Diperkaya Kalium Dalam Perbaikan Kualitas Tanah Masam Dan Hasil Ubikayu - Bariot Hafif, Supiandi Sabiham, Iswandi Anas, Atang Sutandi, Suyamto 142

Perubahan Komunitas Semut Pada Pertanaman Kakao Serta Implikasinya Terhadap Keberadaan Hama Dan Penyakit: Adakah Pengaruh Iklim? - *Damayanti Buchori, Akhmad Rizali, Adha Sari*..... 159

Biokonversi Lignoselulosa Tanaman Jagung Menjadi Bioetanol Melalui Sakarifikasi dan Ko-Fermentasi Simultan (SKFS) Menggunakan Biakan Campuran - *Djumali Mangunwidjaja, Anas Miftah Fauzi, Sukardi, Wagiman* 174

Pengaruh Proses Re-Esterifikasi pada Mesa Sebelum Proses Netralisasi Terhadap Nilai IFT Surfaktan MES yang Dihasilkan - *Erliza Hambali, Putu Suarsana, Sugihardjo, Mira Rivai, Edi Zulchaidir, Hermansyah Handoko* ... 186

Penentuan Lokasi Optimal Pusat-Pusat Pertumbuhan Baru Berbasis Model LGP-IRIO Untuk Mengatasi Ketimpangan Pembangunan Wilayah di Indonesia - *Ernan Rustiadi, Setia Hadi, Didit Okta Pribadi, Andi Syah Putra* 197

Analisis Proses Pembentukan Aliran Permukaan Dan Keterkaitannya Dengan Ketersediaan Air Secara Spasial Dan Temporal Mendukung Pemenuhan Kebutuhan Air Untuk Pertanian - *Hidayat Pawitan, Yanuar J. Purwanto, Budi Kartiwa, Nani Heryani, Sawijo* 217

Penyusunan Program Rehabilitasi Hutan Rawa Gambut Terdegradasi Dalam Rangka Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca - *Istomo, Sri Wilarso Budi R.*..... 233

Model Pengembangan Lahan Rawa Lebak Berbasis Sumberdaya Lokal Untuk Peningkatan Produktivitas Lahan Dan Pendapatan Petani (Studi Kasus Di Kecamatan Sungai Raya Dan Sungai Ambawang, Kabupaten

Kubu Raya - Kalimantan Barat) - *Rois, Supiandi Sabiham, Irsal Las, Machfud* 252

Pengembangan Metodologi untuk Identifikasi Tingkat Degradasi Lahan di Lahan Kering Mendukung Pendayagunaan Lahan Terlantar untuk Keperluan Pertanian - *Santun R.P. Sitorus, Oteng Haridjaja, Asdar Iswati, Dyah R. Panuju* 267

Kecernaan, Fermentasi, Dan Performa Produksi Sapi Potong Lokal Yang Diberi Ekstrak Lerak (*Sapindus Rarak*) Pada Ransum Hijauan Tinggi - *Sri Suharti, Dewi Apri Astuti, Elizabeth Wina* 287

Rekayasa Lingkungan Termal Larutan Nutrisi Pada Budidaya Tanaman Tomat Secara Hidroponik - *Yohanes Aris Purwanto, Herry Suhardiyanto, Chusnul Arif, Yudi Chadirin* 294

BIDANG KESEHATAN

Ekstrak Terstandar Anti Rematik Berbasis Jahe Merah (*Zingiber Officinale* Linn Var Rubrum) - *Dyah Iswantini, Min Rahminiwati, Ahmad Djunaedi, Yunawati Gandasasmita, Sari Pramadiyanti, Latifah K Darusman, Edy Djauhari, Trivadila, Huda Salahudin, Agus Fachrudin, Taopik Ridwan* 311

Aplikasi Etephon Untuk Menyerempakkan Kemasakan Buah Jarak Pagar (*Jatropha Curcas* L.) - *Endah R. Palupi, Memen Surachman, Kartika,Warid* 320

Preparasi Dan Aplikasi Vaksin Polivalen Avian Influenza H5n1 Pada Unggas Menggunakan Prinsip Antibodi-Anti-Idiotipe: Efikasi Vaksin Terhadap Berbagai Strain Virus AI H5N1 Indonesia - *I Wayan Teguh Wibawan, Ketut Karuni N Natih* 335

Seleksi Populasi BC2F2 Hasil Silangan IR64/Hawara Bunar Melalui Pendekatan Marker Assisted Backcrossing (Mab) Dan Produksi Generasi BC2F3 Toleran Al Untuk Mengembangkan Galur Padi Gogo Toleran Al (15 Ppm) - *Miftahudin, Andik Wijayanto, Tatik Chikmawati, Dwinita W. Utami, Ida Hanarida* 352

Intervensi Bubuk Susu Tempe Untuk Memperbaiki Gejala Klinis Diare Pada Anak - *Mira Dewi, Faisal Anwar, Ali Khomsan, Dadang Sukandar* 365

Seleksi Kombinasi Bakteri Selulolitik Dan Xilanolitik Untuk Sakarifikasi Tongkol Jagung - *Pradani Susetyaningsih, Anja Meryandini, Titi Candra Sunarti* 376

INDEKS PENELITI vii

Bidang Pangan dan Energi

PENGEMBANGAN PRODUK TEPUNG PISANG KAYA PATI RESISTEN SEBAGAI PANGAN MODEL FUNGSIONAL

(Product Development of Resistant Starch-Rich Banana Flour as Functional Foods)

Betty Sri Laksmi Jenie[1)], Harsi D. Kusumaningrum[1)], Sri Widowati[2)]
[1)]Dep. Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB,
[2)]Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian

ABSTRAK

Pati pisang varietas uli (*Musa paradisiaca*) dimodifikasi oleh proses fermentasi selama 24 jam pada *chip* pisang yang diikuti oleh proses pemanasan otoklaf dan pendinginan untuk meningkatkan kadar pati resisten tepung pisang. Tepung pisang modifikasi (TPM) kaya pati resisten digunakan sebagai tepung pensubstitusi terigu pada pembuatan cookies, roti dan brownies. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses modifikasi secara signifikan mampu meningkatkan kadar pati resisten menjadi 0.19% dari kadar pati resisten tepung pisang alami (6.17%). Evaluasi sensori menunjukkan bahwa produk yang paling disukai panelis yaitu substitusi tepung pisang modifikasi 60% untuk cookies, 20% untuk roti dan 70% untuk brownies. Kadar pati resisten pada produk pangan cookies adalah (3.68%), roti (1.45%) dan brownies (1.51%).

Kata kunci : Pati resisten, tepung pisang, plantain uli, cookies, bread, brownies.

ABSTRACT

Banana flour of “uli” plantain variety (*Musa paradisiaca*) was modified to increase the resistant starch content as prebiotic. Banana chips were first fermented for 24 h followed by autoclaving-cooling. The modification process significantly increased the RS content (9.19%) and dietary fiber content (17.27%) of MBF. Index glycemic (IG) of MBF evaluated using volunteers was moderate (61.2). The modified RS-rich banana flour (MBF) was then formulated to substitute the wheat flour (WF) into bakery and steamed products i.e. cookies, bread and brownies cake. The amount of MBF substitution significantly affected on the sensory evaluation of the products. The highest rank of each product according to the panelists were obtained at different level of MBF substitution of 40%, 20%, and 70%, for cookies, bread and brownies, respectively. Different MBF formulations and baking and steaming process contributed to the RS contents of the products with the highest RS content was found in cookies (3.68%), followed by brownies (1.51%) and bread (1.45%). Starch digestibility of the products were low i.e. 47.74% (cookies), 45.63% (bread), and 45.91% (brownies) and these values correlated with the relatively low index glycemic predictive (IGp) i.e. 61,2 (cookies); 83,8 (bread); and 55,2 (brownies), while IGp of wheat flour bread was quite high (94,0).

Keywords : Resistant starch, modified banana flour, cookies, bread, brownies.

PENDAHULUAN

Meningkatnya kesadaran konsumen akan pangan dan kesehatan menyebabkan tuntutan terhadap pangan juga meningkat. Pangan yang memiliki pengaruh menguntungkan bagi kesehatan konsumen dikenal sebagai pangan fungsional. Prebiotik adalah salah satu pangan fungsional yang hingga saat ini masih dikembangkan seperti FOS (Fruktooligosakarida), GOS (Galaktooligosakarida), dan pati resisten atau RS (resistant starch). Pati resisten adalah semua jenis pati dan produk degradasi pati yang tidak dapat diserap dalam saluran pencernaan, sehingga pati resisten digolongkan sebagai sumber serat (FAO, 2007). Pati resisten atau RS diklasifikasikan menjadi 4 jenis. RS tipe I yaitu pati alami yang secara fisik terperangkap di antara dinding sel bahan pangan. RS tipe II yaitu granula pati yang secara alami tahan terhadap enzim pencernaan. Tipe III yaitu pati retrogradasi yang dihasilkan melalui proses pengolahan makanan dan tipe IV yaitu pati yang dimodifikasi secara kimia (Haralampu, 2000). *RS* tipe III memiliki kelebihan dibandingkan *RS* tipe lain yaitu bersifat sangat stabil selama pemanasan, sehingga dapat digunakan sebagai ingridien pangan karena sifat fungsionalnya tidak mengalami perubahan selama proses pengolahan (Thompson 2000; Onyango *et al*, 2006).

Pisang merupakan komoditas pertanian yang mengandung karbohidrat tinggi, mengandung komponen pati (17.2-38%) dengan kadar amilosa berkisar 9.1-17.2%. Kadar amilosa yang cukup tinggi pada pisang ini berpotensi sebagai salah satu sumber alternatif pembuatan *RS*. Menurut Sajilata *et al*. (2006) untuk mengembangkan *RS* komersial, sebaiknya digunakan pati yang secara alami mengandung kadar amilosa yang tinggi. Jenie *et al (*2009) telah melakukan modifikasi pati pisang tanduk dan mampu meningkatkan kandungan pati resisten (RS III) tepung pisang. Modifikasi pati dilakukan melalui dua tahap yaitu irisan pisang (chips) sebelumnya difermentasi kemudian dilanjutkan dengan pemanasan dalam otoklaf (121oC, 15 menit) dan didinginkan pada suhu lemari es (5-10oC selama 24 jam. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan tepung pisang kaya pati resisten pada tiga jenis produk pangan model yaitu: kukis (cookies), roti dan brownies. Untuk mengetahui potensinya sebagai prebiotik ketiga jenis produk diamati perubahan kandungan pati resistennya akibat proses pengolahan yang

diterapkan (pemanggangan dan pengukusan). Sifat fungsional lain berdasarkan nilai IGp (indeks glikemik prediktif) (Granfeldt, 1992) secara in vitro dan daya cernanya juga dianalisis terhadap ketiga jenis produk dengan sifat sensoris terbaik.

METODE PENELITIAN

Pembuatan Tepung Pisang Modifikasi (TPM)

Pembuatan tepung pisang uli modifikasi mengacu pada prosedur Jenie *et al* (2009). Pisang uli utuh dikupas dan diiris dengan ketebalan ± 6 mm, kemudian direndam dalam aquades dengan perbandingan 1 : 2 dan difermentasi secara spontan pada suhu ruang selama 24 jam. Irisan pisang yang telah difermentasi dibuang air rendamannya kemudian di panaskan dalam otoklaf pada suhu 121^0C selama 15 menit. Setelah itu irisan pisang didinginkan pada suhu 5-10^0C selama 24 jam. Selanjutnya irisan pisang dikeringkan dengan metode pengeringan menggunakan oven pengering suhu 60^0C selama 5-6 jam, lalu digiling dengan *disc mill* dan kemudian diayak dengan ukuran 60 mesh.

Pembuatan Produk Pangan Model

Tepung pisang modifikasi digunakan sebagai tepung pensubstitusi terigu dalam formula pembuatan produk pangan model yaitu kukis (Rieuwpassa *et al*, 2006), roti (Syamsir *et al*, 2008) dan brownies (Febrial, 2009). Jumlah TPM yang divariasikan untuk mensubtitusi tepung terigu dalam formula produk adalah sebagai berikut: kukis sebesar 60%, 80% dan 100%; roti sebesar 20%, 30% dan 40%; dan brownies sebesar 70%, 80%, 90% dan 100%.

Analisis Komposisi Kimia

Komposisi kimia tepung pisang modifikasi dan produk pangan model (kukis, roti dan brownies) dianalisis meliputi kadar air, kadar abu, lemak, protein dan karbohidrat serta kadar pati (AOAC, 1995). Analisis kadar pati resisten ditentukan dengan menggunakan metode Goni *et al* (1996). sedangkan analisis serat pangan mengikuti metode Asp *et al* (1983) dan analisis daya cerna mengikuti metode Asp *et al* (1996).

Evaluasi Indeks Glikemik Prediktif Produk Pangan Model

Nilai indek glikemik prediktif (IGp) ditentukan berdasarkan nilai indeks hidrolisis dengan menggunakan rumus yaitu IGp = 0.862 IH + 8.198 (Granfeldt, 1992). Nilai indeks hidrolisis (IH) ditentukan berdasarkan kurva hubungan antara persen hidrolisis dan waktu hidrolisis. Kurva tersebut diperoleh dari proses hidrolisis pati secara enzimatis menjadi maltosa selama 180 jam dan secara periodik diukur jumlah maltosa yang dilepaskan (Granfeldt *et al*, 1992).

Evaluasi Sensori

Evaluasi sensori dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan panelis terhadap produk pangan model (kukis, roti dan brownies). Metode yang digunakan adalah *rating* dan *rangking* hedonik oleh 40 panelis tidak terlatih (Meilgaard *et al*. 1999).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Siat Fisik dan Kimia Tepung Pisang Uli Modifikasi

Rendemen tepung pisang modifikasi (TPM) tergolong rendah yaitu sekitar 19,31% dari berat pisang utuh tanpa kulit. Tepung pisang uli modifikasi memiliki derajat putih 17.20 dan kadar pati resisten sebesar 9.19 g/100 g tepung pisang (Tabel 1).

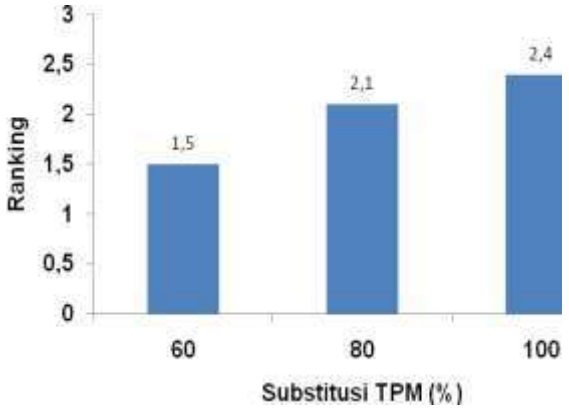
Tabel 1. Komposisi Kimia Tepung Pisang Uli Modifikasi

Komposisi Kimia	Jumlah (% bk)
Kadar pati	52.84
Kadar pati resisten	9.19
Kadar air	10.14
Kadar abu	2.12
Protein	5.27
Lemak	0.21
Karbohidrat	92.41

Keterangan : Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata (p>0.05).

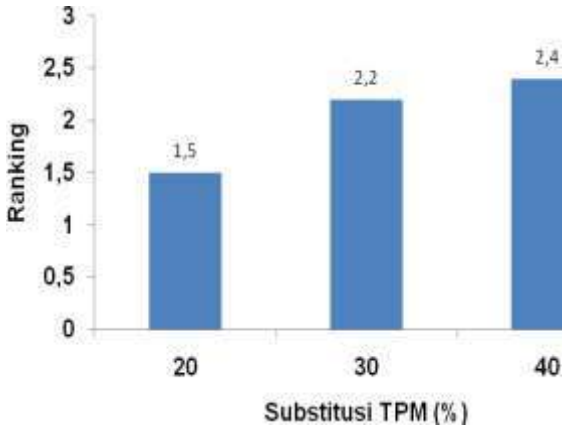
Evaluasi Sensori Produk Pangan Model (Kukis, Roti, Brownies)

Uji ranking hedonik pada produk kukis (Gambar 1) menunjukkan bahwa kukis yang paling disukai oleh konsumen adalah kukis substitusi 60% TPM (1,5), disusul oleh kukis substitusi 80% TPM (2,1) dan yang paling kurang disukai adalah kukis substitusi 100% TPM (2,4). Ranking kesukaan panelis terhadap kukis dengan substitusi 60% TPM berbeda nyata dengan ranking kesukaan terhadap kukis substitusi 80% TPM dan 100% TPM.



Gambar 1. Pengaruh substitusi TPM terhadap ranking hedonik kukis untuk keseluruhan atribut.

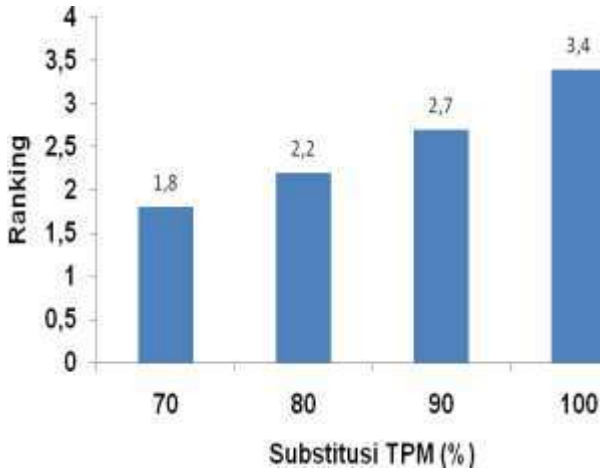
Gambar 2 menunjukkan hasil uji hedonik terhadap warna roti manis. Kesukaan terhadap warna roti dipengaruhi secara nyata oleh jumlah substitusi TPM. Semakin tinggi substitusi TPM (> 30%) akan menurunkan ranking kesukaan warna roti. Roti dengan substitusi 30% TPM memperoleh ranking tertinggi yaitu 3.9 (netral mendekati agak suka) tetapi dengan meningkatkan substitusi hingga 40% menyebabkan ranking warna roti menurun yaitu sebesar 3.2, walaupun masih dapat diterima oleh panelis (netral). Dibandingkan dengan formula 20% TPM kesukaan warna masih lebih baik dari substitusi 40% TPM dengan perolehan ranking 3.7 (netral cenderung agak suka).



Gambar 2. Hasil uji hedonik roti manis TPM dengan berbagai formula (1=tidak suka; 2= agak tidak suka; 3= netral; 4= agak suka;5= suka).

Tingkat kesukaan panelis terhadap mutu sensori roti manis TPM secara keseluruhan baik dari segi warna, aroma, rasa dan tekstur menunjukkan nilai kesukaan diantara 3-5 yaitu netral hingga suka yang berarti secara umum roti manis substitusi TPM dapat diterima oleh konsumen. Uji lanjut Duncan menunjukkan roti manis dengan substitusi 20% TPM berbeda secara nyata dengan substitusi 30% dan 40% TPM. Penerimaan mutu keseluruhan dari roti manis dengan substitusi 30% dan 40% TPM tidak berbeda secara nyata. Nilai kesukaan secara keseluruhan dari mutu roti manis TPM adalah agak suka mendekati suka. Semakin banyak TPM yang ditambahkan, maka nilai kesukaan terhadap aroma, rasa, tekstur dan mutu keseluruhan roti manis menurun. Nilai tertinggi dimiliki oleh roti manis 20% TPM yaitu 4.5, sedangkan roti manis 30% TPM memiliki nilai kesukaan 3.6 dan roti manis 40% TPM memiliki nilai terendah, yaitu 3.1.

Gambar 3 merupakan hasil uji hedonik pada brownies TPM. Brownies dengan formula 70% TPM adalah brownies yang paling disukai panelis dengan nilai ranking rata-rata yaitu 1.8. Berdasarkan hasil uji rating hedonik, uji pembobotan dan uji ranking hedonik diperoleh 70% substitusi TPM sebagai formula terbaik.



Gambar 3. Pengaruh substitusi TPM terhadap ranking tingkat kesukaan brownies TPM.

Komposisi Kimia dan Indeks Glikemik Produk Pangan Model

Komposisi kimia ketiga produk pangan model (kukis, roti dan brownies) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia kukis, roti dan brownies

Komposisi Kimia (% bk)	Kukis	Roti	Brownies
Kadar Air	2,97	26,43	37,28
Kadar Abu	2.74	2.29	1.72
Protein	12.64	11.68	11.98
Lemak	18.04	11.84	31.92
Karbohidrat	66.58	54.58	54.38

Jumlah tepung pisang modifikasi yang ditambahkan dalam formula mempengaruhi kadar pati resisten dari ketiga jenis produk. Kadar pati resisten produk pangan model berbeda-beda (Tabel 3). Kadar pati resisten tertinggi dihasilkan oleh cookies sebesar 3.7% sedangkan roti manis sebesar 1.5% dan brownies sebesar 1.4%.

Nilai indeks glikemik prediktif ketiga produk pangan model berkisar antara 55.2 – 83.8 (Tabel 4). Nilai IG rendah dihasilkan oleh brownies (55.2), sedangkan kukis memiliki nilai IG sedang (61.7) dan roti memiliki nilai IG tinggi

(83.8). Akan tetapi jika dibandingkan dengan nilai IG roti manis kontrol (100% tepung terigu) maka ketiga produk tersebut memiliki nilai IG lebih rendah.

Tabel 3. Kadar pati resisten dan nilai IG tepung pisang modifikasi dan produk pangan model

Produk	Kadar RS (% bk)	Nilai Indeks Glikemik
Tepung pisang modifikasi	9.2	61.2*
Kukis 100% Tepung Terigu	1.0	-
Kukis 60% TPM	3.7	61.7**
Roti manis 100% Tepung Terigu	0.2	94.0***
Roti manis 20%	1.5	83.8**
Brownies 100% Tepung Terigu	0.6	-
Brownies 70%	1.4	55.2**

Keterangan : IG secara in vivo (Jenie et al, 2010)*

*** IG secara in vitro (IG prediktif)*

**** IG roti manis standar (Saguilan et al, 2007)*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlakuan fermentasi dan kombinasinya dengan pemanasan otoklaf dan pendinginan dapat meningkatkan kadar RS tepung pisang uli dari 6.17% (bk) menjadi 9.19% (bk). Peningkatan kadar pati resisten TPM kemungkinan disebabkan karena terjadinya perubahan derajat polimerisasi amilosa dan linierisasi amilopektin akibat hidrolisis oleh amilase dan asam yang diproduksi oleh mikroba amilolitik dan bakteri asam laktat. Pemanasan menyebabkan terjadinya gelatinisasi pati dan pada saat didinginkan akan terjadi sineresis pati (Sajilata *et al.* 2006). Proses tersebut sebagai rangkaian dari proses retrogradasi. Retrogradasi pada pati pisang dapat meningkatkan kadar pati resisten tipe III (Saguilan *et al*, 2005). Saguilan *et al* (2005) melakukan modifikasi pati pisang (*Musa paradisiaca*) dengan pemanasan otoklaf menghasilkan peningkatan pati resisten tipe III dari 1.51 hingga mencapai 16.02 g /100 g pati pisang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tepung pisang yang dimodifikasi memiliki kadar pati resisten sebesar 9.19g/100 g tepung pisang, atau sebesar 18.75g/100 g pati pisang.

Menurut Englyst dan Cummings (1987), pati resisten yang terukur pada pati akibat proses siklus pemanasan suhu tinggi-pendinginan adalah pati resisten tipe III. Hal ini dikarenakan pati resisten tipe I hanya ditemukan pada pati mentah, tidak mungkin terdapat pada pati yang telah mengalami proses pemanasan, sedangkan pati resisten tipe II tidak tahan selama proses pengolahan panas.

Tepung pisang modifikasi mengandung 9.8% serat tidak larut dan 6.7% serat larut. Kadar serat pangan tidak larut TPM lebih besar dibandingkan dengan serat larutnya. Pati resisten terukur sebagai serat tidak larut (Ranhotra *et al*, 1991) dan memiliki fungsi fisiologis (Haralampu, 2000).

Kukis merupakan produk pangan model yang mewakili produk pangan kering karena memiliki kadar air sangat rendah (2,97%). Produk roti dan brownies merupakan produk pangan model dengan kadar air cukup tinggi yaitu masing-masing 26.43% dan 37.28%. Kukis memiliki kandungan karbohidrat lebih tinggi, sedangkan brownies memiliki kadar lemak tertinggi. Perbedaan komposisi ini dipengaruhi oleh keragaman bahan dan jumlah yang digunakan dalam formulasinya.

Komposisi kimia dapat mempengaruhi daya cerna dan tingkat penyerapan nutrisi dalam tubuh manusia. Faali makanan terhadap kadar glukosa darah selama dikonsumsi dinyatakan sebagai indeks glikemik (IG). Untuk mengetahui nilai indeks glikemik (IG) tepung pisang modifikasi dilakukan uji in vivo menggunakan relawan manusia. Tepung pisang modifikasi memiliki nilai IG sedang yaitu 61.2 yang termasuk dalam bahan pangan dengan IG sedang. Mendosa (2008) melaporkan bahwa nilai IG tepung pisang alami adalah 70. Hal ini menunjukkan bahwa proses retrogradasi mampu menurunkan IG bahan pangan. Saguilan *et al* (2007) melaporkan kukis yang terbuat dari pati resisten pisang terasamkan yang dikombinasi dengan proses otoklaf memiliki nilai IG prediktif sebesar 60.5 lebih rendah daripada nilai IG kukis kontrol berbahan baku tepung terigu (77.6). Brownies memiliki nilai IG prediktif lebih rendah dibandingkan kukis dan roti. Hal ini disebabkan karena komposisi dari formula brownies lebih beragam dibandingkan kukis dan roti. Di samping itu formula brownies lebih banyak menggunakan margarin sehingga kandungan lemak pada produk juga lebih banyak dibandingkan kedua produk lainnya (roti dan kukis).

Foster-Powell *et al* (2002) menjelaskan bahwa bahan pangan yang mengandung lemak lebih banyak dapat menyebabkan terbentuknya senyawa kompleks lemak-karbohidrat sehingga menurunkan daya cerna dan menghambat pelepasan glukosa ke darah yang memberikan nilai IG rendah. Produk brownies memiliki nilai IG terendah (55.2) dibandingkan kedua produk lainnya. Dengan demikian, produk brownies dan kukis TPM dengan kandungan pati resisten yang cukup tinggi, daya cerna rendah dan nilai IG sedang dapat dikategorikan sebagai pangan fungsional yang cocok bagi penderita diabet dan sebagai pangan untuk keperluan diet.

KESIMPULAN

Kombinasi proses fermentasi dan pemanasan otoklaf dapat menghasilkan tepung pisang modifikasi (TPM) yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi berbagai produk pangan fungsional berdasarkan kandungan kadar pati resisten dan serat pangan yang cukup tinggi, daya cerna rendah dan IG sedang. TPM dapat diolah menjadi produk pangan fungsional terutama yang teknologi prosesnya mengandalkan pada proses pemanggangan yang tidak memerlukan karakter tekstur yang mengembang seperti kukis dan proses pengukusan seperti tipe brownies kukus dengan keunggulan mengandung kadar pati resisten yang lebih tinggi dan nilai IG prediktif yang lebih rendah dari produk serupa berbasis terigu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian didanai melalui Hibah Kompetitif Strategis Nasional DIKTI RI Tahun 2010. Terima kasih disampaikan kepada Nurhayati, S.TP, M.Si; Federika Rosephin, Annisa Vania dan Desi Ratih atas bantuan teknis dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemist. Washington D.C. : Association of Official Analytical Chemists.

Asp NG, Johnson CG, Halmer H, dan Siljestrom M. 1983. Rapid enzimatic assay of insoluble dietary fiber. J Agric Food Chem 31 : 476-482.

Asp, N. G. (1996). Dietary carbohydrates: classi®cation by chemistryand physiology. Food Chemistry, 57(l): 9 -14.

Astawan M, Faridah DN, Widowati S. 2006. Evaluasi Mutu Gizi dan Indeks Glikemik Berbagai Produk Ubi Jalar Klon BB 00105.10 untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan. *Laporan Akhir Research Grant Hibah Kompetisi B Tahun Anggaran 2006*. Bogor: Departemen ITP-FTP Institut Pertanian Bogor.

Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. 1992 Classification and measurement of nutritionally important starch fraction. *European J Clinical Nutr*. 46(Suppl.2):533-550.

[FAO] Food and Agricultural Organization. 2007. Technical Meeting On Preobitics. http://www.fao.org/ag/agn/agns/files/Prebiotics_Tech_Meeting_Report.pdf [22 Nov 2008].

Febrial, Eka. 2009. Pengembangan Produk Pangan Fungsional Brownies Kukus Dari Tepung Pisang Kecambah dan Tepung Tempe Kacang Komak (*Lablab purpureus (L.) sweet*) [skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Foster-Powell K, Holt SHA, Brand-Miller J. 2002. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *American J Clinical Nutr*, 76, 5–56.

Goni I, Garcia-Diz L, Manas E, Saura-Calixto F. 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *J Food Chem* 56: 445–449.

Granfeldt Y. 1994. Foods factors affecting metabolic responses to cereal products. Ph. D. Thesis, University of Lund, pp. 27–29.

Granfeldt Y, Bjorck I, Drews A, Tovar J. 1992. An in-vitro procedure based on chewing to predict metabolic response to starch in cereal and legume products. *European J Clinical Nutr* 46, 649–660.

Haralampu SG. 2000. Resistant Starch – A Review of Physical Properties and Biological Impact of RS Tipe 3. *J Carb Polymer* (41) : 285-292.

Jenie BSL, Widowati S, Nurjanah S. 2009. Pengembangan produk tepung pisang dengan indeks glikemik rendah dan sifat prebiotik sebagai bahan pangan fungsional (Laporan Hibah kompetitif Penelitian sesuai Prioritas Nasional). Bogor : Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Lehmann U, Jacobasch G dan Schmiedl D. 2002. Characterization of resistant starch type III from banana (*Musa acuminata*). *J Agricul and Food Chem* 50: 5236–5240.

Meilgaard, Carr BT, CilleGP. 1999. *Sensory evaluation techniques*. 3rd Edition. CRC Press. Boca raton.

Mendosa. 2008. Revised international table of glycemic index (GI) and glycemic load (GL) values. www.mendosa.com [11Jan 2009].

Onyango C, Bley T, Jacob A, Henle T dan Rohm H. 2006. Influence of incubation temperature and time on resistant starch type III formation from autoclaved and acid-hydrolysed cassava starch. *J Carb Polymers* 66: 494-499.

Rieuwpassa F, Kusharto CM dan Astawan M. 2006. Dampak Pemberian Biskuit Konsentrat Protein Ikan dan Probiotik terhadap Pertumbuhan Anak Balita. Prosiding PATPI Gizi dan Kesehatan.

Saguilan AA, E Flores-Huicochea, J Tovar, F Garcia-Suarez, F Guitierres-Meraz, LA Bello-Perez. 2005. Resistant starch-rich powder prepared by autoclaving of native and lintnerized banana starch: partial characterization. *J Starch* 57: 405-412.

Saguilan AA, Sonia SGA, Apolonio VT, Juscelino T, Tania EA, Luis ABP. 2007, Slowly digestible cookies prepared from resistant starch-rich lintnerized banana starch. *J Food Comp and Analysis* 20: 175 – 181

Sajilata, Singhai MGRS dan Kulkarni PR. 2006. Resistant starch: A review. *Comprehensive Rev in Food Sci and Food Safety Vol 5*.

Syamsir E, Kusnandar F, Adawiyah DR, Herawati D, Hunaefi D dan Suyatma NE. 2008. Penuntun Praktikum Teknologi Pengolahan Pangan. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan. IPB.

Thompson DB. 2000. On the non-random nature of amylopectin branching. *J Carb Polymers* 43: 223–239.

APLIKASI MARKA RM223 PADA INTRODUKSI AROMA PANDAN WANGI KE VARIETAS NONAROMATIK CIHERANG

(The use of RM223 Marker in The Introduction of Pandan Wangi Aroma Into Ciherang Variety)

Djarot Sasongko Hami Seno[1)], Tri Joko Santoso[2)], Akhmad Endang Zainal Hasan[1)], Bram Kusbiantoro[3)], Zainal Alim Mas'ud [4)]

[1)] Dep. Biokmia, Fakultas Matematika dan IPA, IPB, [2)] BB Biogen Kementrian Pertanian, [3)]BB Padi Kementrian Pertanian, [4)]Dep. Kimia, Fakultas Matematika dan IPA, IPB

ABSTRAK

Marka-marka aromatik kodominan berbasis *badh2* (*badh2-based*) yang tersedia pada saat ini tidak dapat membedakan padi aromatik Indonesia kelompok 2 dari varietas nonaromatik. Pandan Wangi termasuk dalam kelompok tersebut. Pandan Wangi hanya dapat dibedakan dari varietas nonaromatik menggunakan marka aromatik kodominan terkait gen *badh2* (*badh2-related*), RM223. Penelitian ini merupakan studi awal *fragrant-genotyping* padi aromatik Indonesia dan aplikasi marka RM223 dalam rekayasa varietas aromatik baru berbasis Pandan Wangi. Introduksi dilakukan secara persilangan terarah (*site-directed crossing*) untuk menghindari produk transgenik yang pemasarannya terhambat oleh regulasi GMO (*Genetically Modified Organisms*) yang ketat. Pandan Wangi disilang dengan Ciherang, kemudian di*backcross* dengan Ciherang sampai BC2F1. Pada setiap generasi persilangan/*backcross* dilakukan seleksi PCR berbantuan marka RM223. Hinga BC2F1 Ciherang-Pandan Wangi telah berhasil dikonstruksi. Selain itu didapatkan kemungkinan adanya 2 kelompok tipe mutasi ekson 7 gen *badh2* pada varietas aromatik Indonesia. RM223 dapat mendeteksi *native badh2* pada Ciherang, *badh2* termutasi pada Pandan Wangi serta heterozygot *badh2* pada progeni persilangan (F1, BC1, dan BC2).

Kata kunci : Backcross, RM223, Pandan Wangi, Ciherang, badh2, site-directed crossing.

ABSTRACT

Various codominant *badh2-based* fragrant markers are unable to discriminate group 2 Indonesia fragrant from non-fragrant rice. Pandan Wangi is one of group 2 member. Only *badh2-related* codominat fragrant marker RM223 has been able to distinguish Pandan Wangi form those of non-fragrant samples. In this research, preliminary fragrant-genotyping studies of Indonesia fragrant rice was carried out, as well as the use of RM223 as marker for new fragrant variety engineering based on Pandan Wangi. To avoid strict GMO (Genetically Modified Organisms) regulations, aroma introduction was carried out through site-directed crossing, to generate non-transgenic plant product, Pandan Wangi was crossed with Ciherang, and further *backcross*ed to Ciherang until BC2F1. RM223 marker-assisted PCR was used to select progeni in every cross and *backcross* generation. Up to BC2F1 Ciherang-Pandan Wangi has been successfully constructed. In addition, there may be at least 2 different group of exon 7 *badh2* gene mutation among Indonesia fragrant rice varieties. RM223 was able to identify native, mutated, and heterozygous *badh2* gene within Ciherang, Pandan Wangi, and progenies (F1, BC1F1, and BC2F1); respectively.

Keywords : Backcross, RM223, fragrant, Pandan Wangi, badh2, site-directed crossing.

PENDAHULUAN

Nilai komersial dan permintaan pasar (nasional maupun internasional) akan padi aromatik sangat tinggi dan cenderung meningkat terus, terutama pada masyarakat dengan taraf ekonomi yang mapan (Qiu and Zhang 2003, Shi *et al.* 2008, Bradbury *et al.* 2005a,b). Namun hanya sebagian kecil petani di Indonesia yang menanam padi aromatik karena kecuali aroma, karakter agronomi padi aromatik (ketahan penyakit dan stres, selektivitas geografi kultivasi, kemudahan penanaman/pemeliharaan, waktu tanam, dan produktivitas) tidak sebaik padi nonaromatik. Introduksi aroma pada padi nonaromatik dengan tanpa merusak kelebihan-kelebihan karakter agronomi lain dari tetua pemulih (*host*), merupakan hal yang prospektif dalam rangka ketahanan pangan dan meningkatkan *economic benefit* kepada petani. Aroma varietas Pandan Wangi yang sangat popular di masyarakat merupakan donor aroma yang potensial. Pada introduksi aroma, baik secara rekayasa genetik, persilangan konventional (*random crossing*), maupun persilangan terarah (*site-directed crossing*), diperlukan marka spesifik aromatik yang dapat membedakan varietas Pandan Wangi dan progeni persilangannya dari sampel varietas nonaromatik. Analisis awal mendapatkan bahwa marka-marka aromatik berbasis *badh2* (*badh2-based*) yang telah dipublikasikan oleh berbagai peneliti (Bradbury *et al.* 2005b, Shi *et al.* 2008, Sakthivel 2009), tidak dapat membedakan varietas aromatik kelompok 2, yang termasuk didalamnya varietas Pandan Wangi, dari varietas nonaromatik (Hami Seno *et al.* 2009). Studi pendahuluan mendapatkan marka terkait *badh2* (*badh2-related*), RM223 dapat membedakan Pandan Wangi dari varietas nonaromatik. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan aplikasi RM223 sebagai marka pada introduksi aroma Pandan Wangi ke varietas Ciherang.

METODE PENELITIAN

Materi Tanaman

Benih tanaman padi yang digunakan diperoleh dari BB Biogen KemTan (Bogor), BB Padi (Sukamandi) dan LIPI (Cibinong).

Persilangan dan *backcross* (Soedyanto *et al*. 1978)

Butir padi tetua betina dan tetua jantan ditanam sebanyak 5 tahap dengan selang 1 minggu. 10-20 butir padi masing-masing varietas dikecambahkan. Setelah berkecambah, dipilih 5 kecambah yang pertumbuhannya baik dan dipindahkan ke bak pembibitan. Setelah berumur 3 minggu, tanaman dipindahkan ke ember dan dipelihara sampai berbunga. Tanaman tetua jantan dan betina yang pembungaannya bersamaan disilangkan. Sehari sebelumnya dilakukan kastrasi atau emaskulasi pada bunga tanaman tetua betina. Keesokan harinya bunga tanaman tetua jantan dipotong dan direndam dalam air hangat, untuk memicu pemekaran bunga dan pemecahan kotak sari. Bunga tanaman tetua jantan yang telah mekar dioles-oleskan secara langsung pada bunga tanaman tetua betina yang telah diemaskulasi. Bunga yang telah dihibridisasi kemudian ditutup dengan kertas minyak. Tanaman dipelihara sampai panen. Biji-biji yang telah masak dipanen dan dikeringkan dalam oven selama 1 malam. Pada pembentukan benih F1, digunakan tetua betina Ciherang dan tetua jantan donor aroma Pandan Wangi. Pada *backcross* untuk pebentukan populasi BC1 atau BC2 digunakan progeni persilangan (F1 atau BC1) sebagai tetua betina dan Ciherang sebagai tetua jantan.

Isolasi dan karakterisasi DNA

DNA diisolasi dari daun muda sampel tanaman padi yang berumur 2 minggu (Shure *et al.* 1983, Doyle and Doyle 1990). Konsentrasi dan kemurnian DNA ditentukan secara spektrofotometri pada 260 nm dan 260/280 nm (Sambrook *et al.* 1989).

Seleksi PCR (Lang and Buu 2008).

Benih F1 diseleksi PCR dengan bantuan marka aromatik RM223 (Lang and Buu 2008). Reaksi PCR dilakukan pada 20 µL volume yang mengandung 1x buffer PCR (10 mM Tris-HCl (pH 8,3), 50 mM KCl, 1,5 mM KCl, 1,5 mM MgCl2, 0,01% Gelatin), 200 uM masing-masing dNTP (dATP, dCTP, dGTP, dTTP), 50 ng masing-masing primer *reverse* dan *forward* RM223, 50 ng DNA, dan 1 unit Taq DNA polimerase. Siklus suhu yang digunakan adalah denaturasi awal pada suhu 94^0C selama 5 menit, dilanjutkan dengan 35 siklus yang terdiri dari: untuk denaturasi pada suhu 94^0C 30 detik, penempelan primer pada suhu

55^0C 30 detik, dan perpanjangan pada suhu 72^0C 1 menit. Perpanjangan primer terakhir selama 7 menit pada suhu 72^0C .

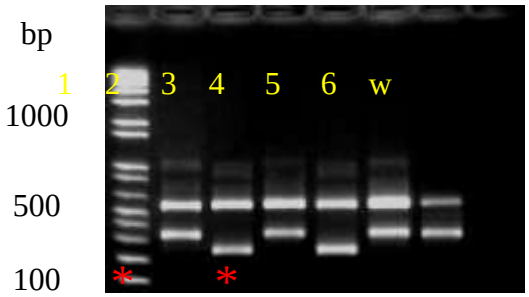
Elektroforesis

Produk PCR diseparasi pada elekforesis agarose (2-3%) dengan menyertakan standar DNA sizer, kemudian divisualisasi dengan pengecatan Ethidium bromida dan penyinaran UV, yang dilanjutkan dengan dokumentasi (Sambrook *et al.* 1989, Bradbury *et al.* 2005).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Bradbury-PCR varietas aromatik dan nonaromatik Indonesia

Hasil analisis PCR dengan marka Bradbury terhadap varietas aromatik dan nonaromatik (Gambar 1) menunjukkan hanya Mentik Wangi dan Gunung Perak yang dapat dibedakan dari varietas nonaromatik, sedangkan varietas aromatik lain tidak, termasuk diantaranya Pandan Wangi. Hal ini menunjukkan bahwa marka Bradbury tidak sesuai untuk Pandan wangi. Diduga terdapat paling sedikit 2 kelompok tipe mutasi ekson7 *badh2* (*badh2.7*) pada varietas aromatik Indonesia.



Gambar 1. Profil PCR padi aromatik Indonesia dengan marka Bradbury.

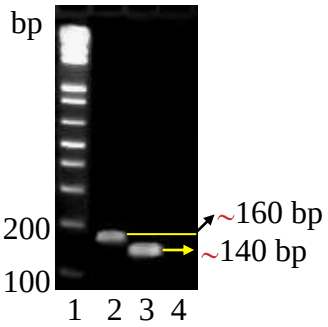
Keterangan : 1=Ciherang, 2=Mentik Wangi, 3=Pandan Wangi, 4=Gunung Perak, 5=Pulu Mandoti, 6=Pare Kembang; w=air (kontrol negatif). *=Varietas aromatik (Mentik Wangi dan Gunung Perak) yang dapat teridentifikasi (memberikan pola amplikon yang berbeda dengan varietas nonaromatik) dengan marka Bradbury.

Kegagalan marka Bradbury mengidentifikasi Pandan Wangi dan varietas aromatik unggulan dari Laos (Kai Noi Leung) dan Burma (Paw Sam Hwe) telah dilaporkan (Fitzgerald *et al.* 2008, Kovach *et al.* 2009), sehingga peneliti tersebut

mengusulkan adanya mutasi pada *badh2*.9, dan kemungkinan adanya gen pengendali aroma selain *badh2*. Namun masih memerlukan klarifikasi lebih lanjut. Kegagalan serupa untuk varietas aromatik Tarunbhog, Ganjeikalli, Bishnubhog, Bansphool A dan Adamchini dari India Juga telah dilaporkan (Sakthivel *et al.* 2009). Hasil sekuen DNA pada varietas-varietas tersebut mendapatkan tidak adanya delesi 8 bp pada *badh2.7* (Sakthivel *et al.* 2006, 2009). Analisis lebih lanjut juga tidak ditemukan adanya mutasi *badh2.2*, seperti yang ditemukan pada beberapa varietas dari Cina oleh Shi *et al.* (2008). Hal ini menimbulkan spekulasi walaupun gen *badh2* dan delesi 8 bp pada *badh2.7* mengontrol pada kebanyakan varietas aromatik, namun tidak universal dan kemungkinan adanya gen lain pada varietas-khusus tersebut yang mengontrol aroma (Sakthivel *et al.* 2009). Ketidak adaan delesi 8 bp *badh2.7* juga telah dilaporkan pada genotip aromatik yang lain (Kuo *et al.* 2005; Navarro *et al.* 2007; Fitzgerald *et al.* 2008).

Profil RM 233-PCR Ciherang and Pandan Wangi

DNA varietas Ciherang dan Pandan Wangi diamplifikasi dengan marka RM223. Hasil elektroforesis produk PCR (Gambar 2) menunjukkan RM 223 marker dapat membedakan dengan jelas antara amplikon Ciherang (~160 bp) dan Pandan Wangi (~140 bp), serta sesuai dengan publikasi sebelumnya (Lang and Buu 2008).

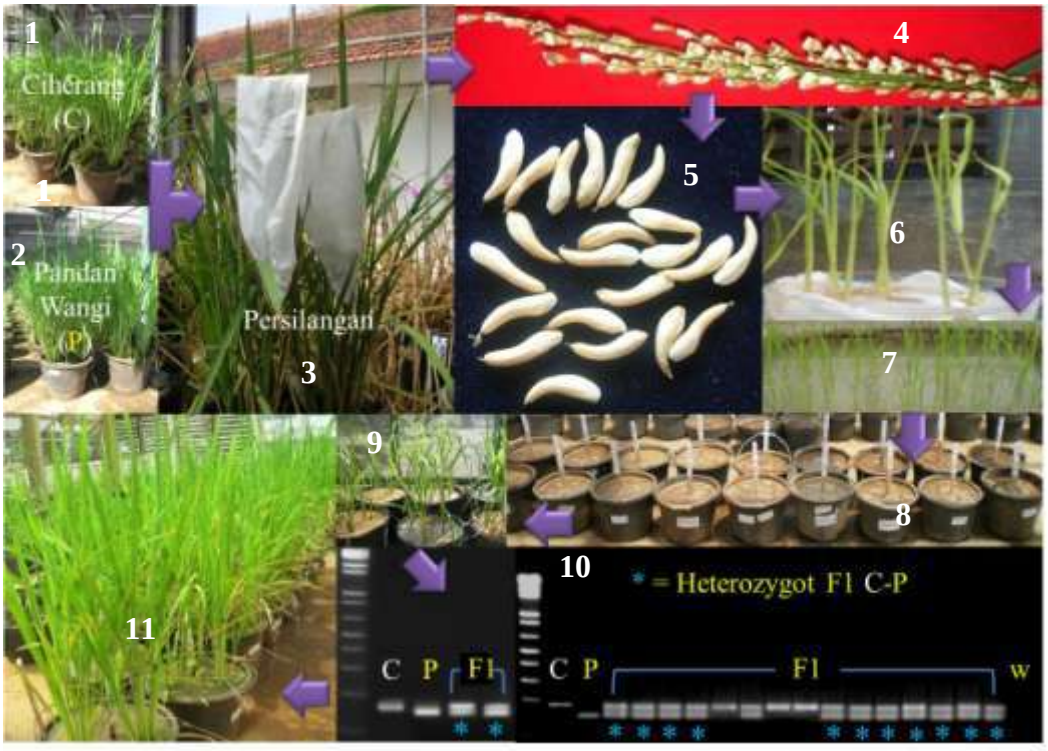


Gambar 2. Profil RM233-PCR varietas Ciherang dan Pandan Wangi.

Keterangan : 1= *size marker*, 2 = Ciherang, 3 = Pandan Wangi, and 4 = air (kontrol negatif).

Pembentukan dan seleksi F1 Ciherang-Pandan Wangi

Tahapan percobaan dan contoh hasil pembentukan serta seleksi F1 disajikan pada Gambar 3. Keberhasilan pembentukan F1 terlihat dari pita heterozygot hasil PCR sampel F1. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan konsistensi marka RM223 dalam membedakan sampel padi nonaromatik Ciherang, padi aromatik Pandan Wangi, maupun hasil persilangan/*backcross* keduanya, sesuai hasil publikasi peneliti terdahulu menggunakan varietas lain (Lang and Buu 2008).

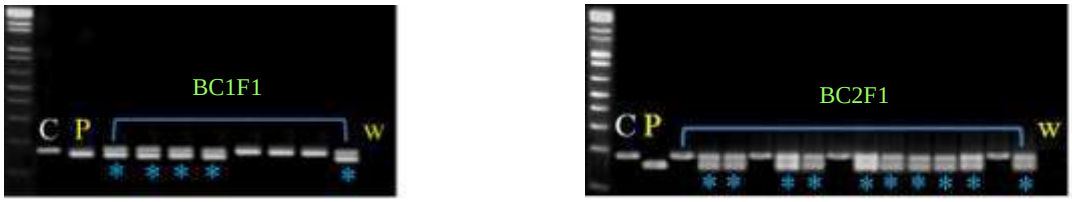


Gambar 3. Pembentukan dan seleksi F1 Ciherang-Pandan wangi.

Keterangan : 1–4 = contoh tanaman Ciherang, Pandan wangi, persilangan, dan malai. 5-9 = contoh biji/buah F1, tanaman F1 pada petri dis, bak, dan pot/ember pada awal penanaman, serta pada saat pengambilan sampel daun untuk isolasi DNA.10 = contoh gel agarosa hasil elektroforesis produk PCR; s = *size marker*, C = Ciherang, P = Pandan wangi, F1= F1 Ciherang-Pandan wangi, dan w = air. Panah menunjukkan urutan langkah percobaan. * menunjukkan F1 heterozygot, digunakan untuk menyeleksi tanaman F1 (11) yang akan di *backcross* selanjutnya dengan Ciherang untuk mendapatkan BC1F1Ciherang-Pandan Wangi. Ukuran amplikon seperti pada Gambar 2.

Profil RM223-PCR BC1F1 dan BC2F1 Ciherang-Pandan Wangi

Tahapan percobaan dilakukan seperti pada Gambar 3, tetapi tetua Pandan Wangi diganti dengan F1 atau BC1F1 pada pembentukan dan seleksi BC1F1 atau BC2F1. Hasil seleksi PCR (Gambar 4) menunjukkan adanya pita heterozygot hasil PCR sampel BC1F1 dan BC2F1 Ciherang-Pandan Wangi, seperti pada pembentukan dan seleksi F1 serta publikasi peneliti terdahulu menggunakan varietas lain (Lang and Buu 2008).



Gambar 4. Profil PCR BC1F1 dan BC2F1 Ciherang-Pandan Wangi. dengan marka RM223.

Keterangan : C=Ciherang, P=Pandan Wangi, w=air, * progeni BC1F1 atau BC2F1 heterozygot Ciherang-Pandan Wangi. Ukuran amplikon seperti pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan marka aromatik RM223 konsisten dalam membedakan sampel padi nonaromatik Ciherang, padi aromatik Pandan Wangi, maupun hasil persilangan/*backcross* keduanya. Selain itu dapat menunjukkan introgresi gen aroma (*badh2* termutasi) dari Pandan Wangi ke Ciherang; dan membedakan status gen (termutasi/*native*) serta alel (homozygot/heterozygot) *badh2* varietas padi nonaromatik Ciherang, aromatik Pandan Wangi, dan hasil persilangan serta *backcross* kedua varietas tersebut. Oleh karena itu, marka RM223 cocok untuk digunakan sebagai marka seleksi pada pengembangan varietas aromatik baru berbasis Pandan Wangi.

Selain hal positif tersebut, pemilihan marka RM223 pada penelitian ini juga berdasarkan bahwa, hanya marka ini satu-satunya yang dapat membedakan Pandan Wangi dari varietas nonaromatik.

Marka RM223 merupakan salah satu marka aromatik yang menggunakan system duplek (2 primer). Selain marka dengan system dupleks, marka aromatik dengan system multipleks (4 primer) juga telah dipublikasikan (Bradbury *et al.*

2005b), namun selain tidak sesuai/kompatibel dengan Pandan Wangi, system multiplek mempunyai kelemahan karena lebih kompleks, memerlukan lebih banyak primer, amplifikasi lebih lemah, inkonsistensi akibat kompetetisi pengikatan primer dengan DNA templat, dan amplifikasi nonspesifik akibat sedikit perbedaan konsentrasi primer (Sakithvel *et al.* 2009).

Namun sebaliknya pada marka duplek, perbedaan ukuran amplikon nonaromatik dan aromatikpada (Lang and Buu 2008, Shi *et al.* 2008, Shakitel *et al.* 2009) relatif kecil dan kadang harus menggunakan gel poliakril amida (Shi *et al.* 2008), karena hanya bergantung pada perbedaan basa akibat delesi (*InDel*) gen *badh2*. Selain delesi pada ekson 7 yang telah ditemukan (Bradbury *et al.* 2005b, Borquis *et al.* 2008), Shi *et al.* (208) juga mendapatkan adanya delesi pada ekson 2 gen *badh2*. Namun marka Shi *et al.* (2008), baik untuk ekson 7 maupun 2, memberikan perbedaan pita amplifikasi yang relatif kecil (8 bp pada ekson 7 dan 7 bp pada ekson 2) dan harus menggunakan gel poliakril amida, sehingga kurang praktis pada seleksi tanaman dalam jumlah banyak.

Perbedaan ukuran amplikon dari RM223 merupakan yang paling besar dibandingkan marka aromatik duplek yang lain (Shi *et al.* 2008, Shakitel*et al.* 2009). Oleh karena itu relatif paling mudah/praktis digunakan.

KESIMPULAN

- Marka RM223 dapat mengidentifikasi keberadaan gen *badh2* dan status gen (utuh/termutasi) serta alel (homozygot/heterozygot) *badh2* pada sampel varietas padi nonaromatik Ciherang, aromatik Pandan Wangi, dan hasil persilangan/*backcross* kedua varietas tersebut (F1, BC1F1, BC2F1)
- RM223 cocok untuk digunakan sebagai marka seleksi pada pengembangan varietas aromatik baru berbasis Pandan Wangi.
- RM223 dapat menunjukkan introgresis gen badh2 termutasi dari donor (Pandan Wangi) ke *host* (Ciherang)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis beserta tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Sekretariat Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementrian Pertanian, atas dana yang telah diberikan (Nomor kontrak : 592/LB.620/I.1/2/2009 Tanggal 20 Februari 2009 dan 1011/L.B.620/I.1/4/2010 Tanggal 6 April 2010) sehinga penelitian ini dapat berlangsung. Selain itu juga kepada LPPM IPB, FMIPA IPB, Departemen Biokimia IPB, LT IPB, BB Biogen, dan LIPI atas kerjasama, pengelolaan administrasi, dukungan serta fasilitas SDM dan laboratorium. Juga kepada para pembantu peneliti/teknisi (Bambang Padmadi SSi, Dewi Praptiwi Ssi, Sugihartati SSi, Taufik) atas kerja sama dan kerja keras yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

Ahn SN, Bollisch CN, Tanksley SD (1992) RFLP tagging of a gene for aroma in rice. Theor Appl Genet 84:825–828.

Bourgis, F, R. Guyot, H. Gherbi, E. Tailliez, I. Amabile, J. Salse, M. Lorieux, M. Delseny, and A. Ghesquière (2008) Characterization of the major fragance gene from an aromatik *japonica* rice and analysis of its diversity in Asian cultivated rice. Theor Appl Genet. 117(3): 353–368.

Bradbury LM, Fitgerald TL, Henry RJ, Jin Q, Waters DLE (2005a) The gene for fragrance in rice. Plant Biotech J 3:363–370.

Bradbury LMT, Henry RJ, Jin Q, Reinke RF, Waters DLE (2005b) A perfect marker for fragrance genotyping in rice. Mol Breed 16:279–283.

Buttery RG, Ling LC, Juliano BO, Turnbaugh JG (1983) Cooked rice aroma and 2-acetyl–1-pyroline in rice. J Agric Food Chem 31:823–826.

Cordeiro GM, Christopher MJ, Henry RJ and Reinke RF (2002) Identification of microsatellite markers for fragrance in nrice by analysis of the rice genome sequence. Mol. Breed. 9: 245–250.

Doyle J J and Doyle J L (1990) A rapid total DNA preparation procedure for fresh plant tissue. Focus 12:13-15.

Fitzgerald M A, Hamilton N R S, Calingacion M N, Verhoeven H A, and Butardo, V M (2008) Is there a second fragrance gene in rice. Plant Biotech. J. 6:416-423.

Kovach M J, Calingacion M N, Fitzgerald M A, and McCouch S R (2009) The orign and evolution of fragrance in rice (*Oriza sativa L.*). PNAS 106:14444-14449.

Kuo SM, Chou SY, Wang AZ, Tseng TH, Chueh FS, Yen HE, Wang CS (2005) The betaine aldehyde dehydrogenase (BAD2) gene is not responsible for aroma trait of AS0420 rice mutant derived by sodium azide mutagenesis. In: Proceedings of the 5th international rice genetics symposium, IRRI, Philippines, p 166.

Hami Seno DS, Santoso TJ, Tri Jatmiko KR, Padmadi B, Praptiwi D (2009) Konstruksi padi nonaromatik yang beraroma wangi menggunakan PCR berbantuan marka gen badh2. Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian IPB 2009, 678-688. ISBN : 978-602-8853-03-3, 978-602-8853-08-8.

Lang NT dan Bu BC (2008) Development of PCR-based markers for aroma (*fgr)* gene in rice (*Oryza sativaI* L.). *Omonrice* 16: 16-23.

Lorieux M, Petrov M, Huang N, Guiderdoni E, Ghesquière A (1996) Aroma in rice: genetic analysis of a quantitative trait. Theor App Genet 93:1145–1151.

Navarro M, Butardo V, Bounphanousay C, Reano R, Hamilton RS, Verhoeven H, Fitzgerald M (2007) The good, the BAD and the fragrant—understanding fragrance in rice. In: Proceedings of international network on quality rices— clearing old hurdles with new science: improving rice grain quality, IRRI, Philippines, Apr 17–19, pp 16–17.

Paule CM, Powers JJ (1989) Sensory and chemical examination of aromatik and non aromatik rices. J Food Sci 54:343–346.

Petrov M, Danzart M, Giampaoli P, Faure J, Richard H (1996) Rice aroma analysis Discrimination between a scented and a non scented rice. Sci Aliments 16:347–360.

Qiu ZJ, Zhang YS (2003) Why fragrance rice produced in Thailand can be sold worldwide? World Agric (China) 2:33–36.

Reinke RF, Welsh LA, Reece JE, Lewin LG and Blakeney AB (1991) Procedures for quality selection of aromatik rice varieties. Int. Rice Res. Newslett. 16: 10–11.

Sakthivel K, Rani NS, Pandey MK, Sivaranjani AKP, Neeraja CN, Balachandran SM, Madhav MS, Viraktamath BC, Prasad SV, and Sundaram RM (2009) Development of a simple functional marker for fragrance in rice and its validation in Indian Basmati and non-Basmati fragrant rice varieties. *Mol. Breeding* DOI 10.1007/s11032-009-9283-x.

Shi W, Yang Y, Chen S, Xu M (2008) Discovery of a new fragrance allele and the development of functional markers for the breeding of fragrant rice varieties. *Mol. Breeding* 22: 185-192.

Shure, M, S. Wessler, and N. Fedorrof (1983) Molecular identification and isolation of the *Waxy* locus in maize. Cell 35: 225-233.

Sood BC and Sidiq EA (1978) A rapid technique for scent determination in rice. Indian J. Genetic Plant Breed. 38: 268–271.

Srivong P, Wangsomnuk P and Pongdontri P (2008) Characterization of a fragrant gene and enzymatic activity of betaine aldehyde dehydrogenase in aromatik and nonaromatik thai rice cultivars. KKU Sci. J. 36(4): 290-301.

Sun SH, Gao FY, Lu XJ, Wu XJ, Wang XD, Ren GJ, Luo H (2008) Genetic analysis and gene fine mapping of aroma in rice (Oryza sativa L. Cyperales, Poaceae). Genet Mol Biol 31:532–538. doi:10.1590/S1415-47572008000300021.

Tanchotikul U and Hsieh TCY (1991) An improved method for quantification of 2-acetyl-1-pyrroline, a "popcorn`-like aroma, in aromatik rice by high-resolution gas chromatography/mass spectrophotometry/selective ion monitoring. J. Agric. Food Chem. 39: 944-947.

Vanavichit A, Tragoonrung S, Toojinda T, Wanchana S, and Kamolsukyunyong W (2008) Transgenic rice plants with reduced expression of Os2AP and elevated levels of 2-acetyl-1-pyrroline. USA patent 7,319,181.

Wanchana S, Kamolsukyunyong W, Ruengphayak S, Toojinda T, Tragoonrung S, Vanavichit A (2004) Enhancing 2-acetyl-1-pyrroline synthesis in rice leaves by RNAi-mediated suppression of Os2AP converts non-aromatik to aromatik rice (Oryza sativa L.) Proceedings of the 1.sup.st International Conference on Rice for the Future, p. 105.

Widjaja R, Craske JD. and Wootton M (1996) Comparative studies on volatile components of non-fragrant and fragrant rices. *J. Sci. Food Agric*. 70: 151–161.

Yoshihashi T, Huong NTT, and Inatomi H (2002) Precursors of 2-acetyl-1-pyrroline, a potent flavour compound of an aromatik rice variety. J Agric Food Chem 50:2001–2004.

INTRODUKSI TOLERANSI GENANGAN BERBANTUAN MARKA *SUB1* PADA VARIETAS CIHERANG

(Sub1 Marker-Assisted Introduction of Submergence Tolerance into Rice C.V. Ciherang)

Djarot Sasongko Hami Seno[1)], Satya Nugroho[2)], Tri Joko Santoso[3)], Zainal Alim Mas'ud[4)]

[1)]Dep. Biokmia FMIPA IPB, [2)]LIPI, [3)]BB Biogen Kementrian Pertanian,
[4)]Dep. Kimia, Fakultas Matematika dan IPA, IPB

ABSTRAK

Perubahan iklim global yang sulit diramalkan mendesak perlunya pengembangan varietas padi toleran banjir/genangan. Mengingat varietas alami toleran genangan kurang ekonomis untuk kultivasi skala besar, maka penelitian ini bertujuan untuk mengintroduksi toleransi genangan pada varietas popular dengan produktivitas tinggi (Ciherang). Metoda introduksi dilakukan secara persilangan terarah (*site-directed crossing*), dimana donor *sub1* disilangkan dengan *host* Ciherang, dan F1 di*backcross* dengan Ciherang untuk mendapatkan BC1F1. Pada setiap generasi persilangan/*backcross* dilakukan uji genangan, diikuti PCR dengan marka *sub1*, yang dipilih berdasarkan hasil validasi berbagai marka *sub1* kodominan (RM464A, RM219) dan dominan (C173, AEX1) yang tersedia pada saat ini. Hasil penelitian mendapatkan F1 dan BC1F1 Ciherang toleran genangan. Marka dominan AEX1 merupakan marka *sub1* yang paling sesuai. Hasil analisis PCR mendapatkan pita *sub1* pada progeni (F1, BC1F1) yang tadinya tidak ada. Menunjukkan keberhasilan transfer gen *sub1* dari donor ke *host* dan mengkonfirmasi toleransi genangan progeni timbul akibat introgresi *sub1*, bukan karena mekanisme *escape*.

Keywords : Toleransi genangan, *sub1*, marka dominan/kodominan, AEX1, Ciherang.

ABSTRACT

Unpredictable global climate changes have triggered the need for engineered submergence-tolerant rice. Due to in-economical of native submergence tolerant varieties for large scale cultivation, therefore, this research aims to introduce submergence tolerance into high productivity popular rice. Introduction was carried out through site-directed crossing, where *sub1* donor was crossed with Ciherang *host*, and the F1 progenies were further *backcross*ed to Ciherang to obtain BC1F1 progeny. Submergence test was performed in every cross/*backcross* generation, followed by PCR using *sub1* marker, which was chosen based on validation results of currently available co-dominant (RM464A, RM219) and dominant (C173, AEX1) *sub1* markers. F1 and BC1F1 submergence-tolerant Ciherang were obtained. AEX1 dominant marker was the most appropriate for this research. PCR results showed additional *sub1* band within progeny (F1, BC1F1) that was not presence previously. Indicating the success of *sub1* gene transfer from donor to host, as well as confirming that progenies-submergence tolerance was due to *sub1* introgression, not escape mechanisms.

Keywords : Submergence, *sub1*, dominant/co-dominant marker, AEX1, Ciherang.

PENDAHULUAN

Tergenangnya padi merupakan salah satu kendala utama produksi padi (Perata and Voesenek 2007), terutama di Asia, termasuk Indonesia, dimana sistem irigasi masih belum tertata dan banyak lahan pertanian pada dataran rendah, sehingga rentan terhadap curah hujan berlebih atau luapan air sungai/laut. Perubahan iklim global yang sulit diramalkan juga memberikan kontribusi terhadap meningkatnya frekuensi banjir areal persawahan. Umumnya tanaman padi sensitif terhadap genangan (Perata and Voesenek 2007). Pada saat tergenang, padi terekspos dengan berbagai cekaman lingkungan dan biofisik seperti penurunan intesitas cahaya yang diterima dan laju difusi gas ($< 10^4$ x) menuju (CO_2) atau menjauhi (O_2 dan etilen) tanaman (Setter *et al.* 1995, Mohanty *et al.* 2000, Jackson and Ram 2003, Sarkar *et al.* 2006). Fisiko kimia air penggenang juga berpengaruh, semakin dingin semakin menjauhkan enzim dari temperatur optimal, semakin tinggi pH dan semakin kecil kandungan CO_2 lebih menghambat fotosintesis dan mengurangi O_2 untuk respirasi (Ella *et al.* 2003, Perata and Voesenek 2007). Semakin keruh akan mengurangi intensitas cahaya, yang bersama dengan kekurangan CO_2 akan menghambat fotosintesis (Jackson and Ram 2003, Perata and Voesenek 2007). Namun kurang relevan kalau dilakukan usaha untuk memanipulasi air banjir dan sulit mengatur intensitas cahaya di alam terbuka. Tinjauan molekuler lebih terfokus pada efek kekurangan O2 yang menghambat respirasi/sintesis ATP dan akumulasi etilen yang mendorong klorosis serta perpanjangan daun berlebih pada kultivar intoleran (Jackson *et al.* 1987, Jackson and Ram 2003, Ella *et al.* 2003).

Karakter agronomi varetas padi toleran genangan alami umumnya kurang memenuhi untuk kultivasi sekala besar (terlalu tinggi, sensitif penyakit dan hama serangga, produktivitas rendah, dsb.) (Sarkar *et al.* 2006, Mohanty *et al.* 2000). Oleh karena itu toleransi genangan perlu diinkorporasikan pada varietas padi populer yang lebih produktif (Mohanty *et al.* 2000). FR13A merupakan kultivar toleran genangan yang paling intensif digunakan pada pemgembangan padi toleran genangan (Mohanty *et al.* 2000, Jackson and Ram 2003, Sarkar *et al.* 2006). Toleransi genangan FR13A terkait dengan QTL mayor yang dikenal

dengan *summergence* (*sub1*) (Xu *et al.* 2004), yang terpetakan pada kromosom 9, berukuran 200 kb, dan berperan dalam variasi toleransi genangan kultivar padi toleran Indica dan intoleran Japonica (Xu and Mackill 1996, Xu *et al.* 2004, Perata and Voesenek 2007). *sub1* FR13A mengkode tiga faktor transkripsi (*sub1A*, *sub1B*, dan *sub1C*) yang termasuk kelompok B-2 subgrup *ethylene response factor (ERFs)/ethylene-responsive element bindingproteins (EREBPs)/ apetala2-likeproteins (AP2)* (Perata and Voesenek 2007). Regulasi transkripsi *sub1A* dan *sub1C* meningkat akibat genangan, dan peningkatan *sub1C* berkurang dengan adanya *sub1A*, mengindikasikan adanya represi *sub1C* oleh *sub1A*, sedangkan *sub1B* hanya sedikit terpengaruh oleh genangan (Perata and Voesenek 2006, Fukao and Bailey-Serres 2008).

Survey alel mendapatkan toleransi genangan terkait dengan alel *sub1A-1* dan intoleransi genangan terkait dengan alel *sub1A-2* (Xu *et al.* 2004, Fukao dan Bailey-Serres 2008). Transformasi *sub1*A-1 pada varietas Japonica intoleran genangan menghasilkan tanaman transgenik yang toleran genangan (Perata and Voesenek 2006, Fukao and Bailey-Serres 2008). Introgresi *Sub1* (haplotipe *sub1A-1*, *sub1B-1*, *sub1C-1*) pada intoleran kultivar japonica M202 mendapatkan tanaman yang lebih : toleran terhadap genangan, lambat penurunan pati dan solubel karbohidratnya, rendah mRNA α-amilase dan sukrosa sintasenya (*sus3*), tinggi aktivitas piruvat dekarboksilase (*pdc*) dan alkohol dehidrogenase (*adh*), kecil produksi etilennya, dan berkurang transkripsi gen ekspansinnya (*expA*) (Fukao dan Bailey-Serres 2008). Data-data fisiologi ini mendukung teori bahwa strategi survival terhadap genangan berlangsung melalui konservasi karbohidrat, represi elongasi sel, dan peningkatan kapasitas fermentasi (Perata and Voesenek 2006, Fukao and Bailey-Serres 2008).

Keterkaitan *sub1* dalam survival tanaman terhadap genangan telah dipostulasikan (Perata and Voesenek 2006, Fukao and Bailey-Serres 2008). Genangan mengakibatkan akumulasi etilen yang kemudian menginduksi transkripsi gen *sub1A* sehingga terjadi akumulasi protein *SUB1*A. Selanjutnya *SUB1*A menghambat *expA* dan *sus3*, sehingga menghambat pertumbuhan. *SUB1*A meningkatkan transkripsi gen yang berkaitan dengan fermentasi sehingga

terjadi akumulasi mRNA dan peningkatan aktivitas *pdc* dan *adh*. Kondisi fermentasi akan membuat glikolisis dapat berlanjut sehingga menghasilkan ATP untuk *survival*. *SUB1*A menghambat gen yang berkaitan dengan elongasi sel dan katabolisme karbohidrat. Degradasi pati mengasilkan sumber glukosa untuk glikolisis dan pertumbuhan. Padi yang mengekspresi *sub1A*, laju elongasinya rendah, sehingga pati dan karbohidrat lain yang terkumpul dapat digunakan untuk mempertahankan perlambatan sintesis ATP melalui fermentasi. *SUB1*C yang mengontrol gen α-amilase (*ramy3D*) dihambat oleh *sub1*A. Gibberellins (GA) terlibat dalam regulasi ekspresi *sub1C*. Peningkatan regulasi *ramy3D* oleh kandungan gula didapatkan pada *sub1A*-defisien. *SUB1*A juga bertanggung jawab pada restriksi *feedback* produksi etanol (Fukao *et al.* 2006).

Usaha pengembangan varietas toleransi genangan telah dilakukan baik melalui *conventional* maupun *molecular breeding* (rekayasa genetik). Pengembangan secara *molecular breeding* melibatkan gen-gen yang terkait dengan metabolisme karbohidrat *(pdc, adh*). Penurunan suplai O_2 pada saat tergenang, berpengaruh pada respirasi sehingga menghambat sintesis ATP. Selama anaerobiosis, jalur respirasi berubah dari oksidasi ke fermentasi (Mohanty *et al.* 2000, Fukao and Serres 2008). Induksi jalur fermentasi etanol diangap sebagai komponen penting bagi padi untuk bertahan terhadap cekaman banjir/anaerobik (Mohanty *et al.* 2000, Sarkar *et al.* 2006). Ketidak mampuan tanaman memproduksi etanol pada cekaman anaerobik akan lebih cepat mati (Perata and Voesenek 2006). Fermentasi etanol (piruvat → etanol) melibatkan enzim piruvat dekarbosilase (PDC) dan alkohol dehidrogenase (ADH) (Mohanty *et al.* 2000). Introduksi gen *pdc* pada tanaman padi telah dilakukan di CSIRO, Australia (Mohanty *et al.* 2000). Klon cDNA *pdc1* pada promotor CaMV 35 S, aktin1, dan promotor sintetik *anoxia-induced* (pada orientasi *antisense*/*sense*) diintroduksi pada padi (Mohanty *et al.* 2000). Salah satu konstruksi rekombinan (*actin 1-pdc1, sense*) telah digunakan di IRRI untuk pengembangan padi transgenik dengan kapasitas metabolik tinggi pada kondisi anaerobiosis yang mendukung toleransi genangan (Mohanty *et al.* 2000). Aktivitas PDC dan produksi etanol berkorelasi positif dengan survival tanaman setelah mengalami genangan. Introduksi gen *adh* pada padi juga telah dilakukan, tetapi hubungan

hasil yang diperoleh dengan toleransi genangan masih perlu diteliti lebih lanjut (Thach 1999, Sarkar *et al.* 2006). Gen lain yang diteliti adalah berkaitan dengan faktor transkripsi dan sinyal transduksi, namun hingga kini belum ada laporan yang valid. Introduksi *sub1* pada kultivar Japonica M202 juga telah dilakukan, namun masih perlu diteliti lebih lanjut (Xu *et al.* 2004). Kemajuan yang diperoleh pada pengembangan varietas padi toleran genangan lebih banyak diperoleh dari *conventional breeding*.

Varietas baru toleran genangan telah dihasilkan melalui *conventional breeding* (Xu *et al.* 2006, Sarkar *et al.* 2006). Namun produktivitasnya relatif kurang tinggi (< 6,5 ton/ha). Salah satu penyebabnya adalah introgresi donor tidak terminimalisasi karena masih turunan BC2. Oleh karena itu diharapkan pada penelitian ini, dapat dihasilkan varietas Ciherang toleran genangan dengan introgresi donor seminimal mungkin, sehingga produktivitas varietas hasil pengembangan (BC5) mendekati Ciherang (~8,5 ton/ha).

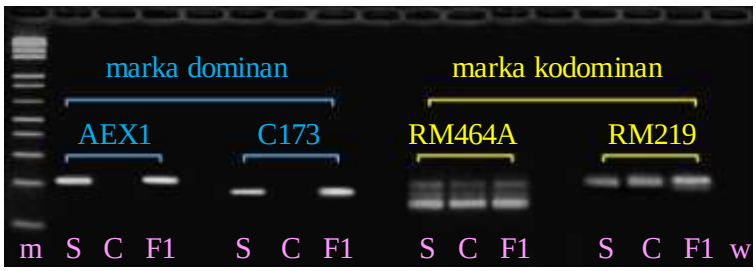
METODE PENELITIAN

Benih padi diperoleh dari BB Biogen KemTan dan LIPI. Metoda persilangan dan *backcross* mengacu pada Soedyanto *et al.* (1978). Uji toleransi genangan dilakukan dengan merendam sepenuhnya tanaman berusia 4 minggu selama 14 hari (Septiningsih *et al.* 2009). Isolasi DNA dari daun muda tanaman dilakukan sesuai metoda Doyle and Doyle (1990). Konsentrasi dan kemurnian DNA ditentukan secara spektrofotometri pada 260 nm dan 260/280 nm (Sambrook *et al.* 1989). Komposisi campuran dan siklus suhu PCR mengacu pada Septiningsih *et al.* (2009) untuk AEX1 dan C173, serta mengacu pada Xu *et al.* (2004) untuk RM464A dan RM219. Produk PCR diseparasi pada elekforesis agarosa (1-2%) dengan menyertakan standar DNA sizer, kemudian divisualisasi dengan pengecatan Ethidium bromida dan penyinaran UV, yang dilanjutkan dengan dokumentasi (Sambrook *et al.* 1989, Xu *et al.* 2004, Bradbury *et al.* 2005, Septiningsih *et al.* 2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi marka toleransi genangan (*sub1*)

Untuk memastikan bahwa marka toleransi genangan (*sub1*) yang akan digunakan dapat berfungsi dengan baik pada seleksi progeni persilangan, terlebih dahulu dilakukan validasi berbagai marka *sub1* yang tersedia pada saat ini, baik yang dominan (C173, AEX1) maupun kodominan (RM464A, RM219). Hasilnya (Gambar 1) sesuai publikasi sebelumnya (Septiningsih *et al.* 2009). AEX1 dan C173 dapat membedakan sampel *host* Ciherang dan donor toleransi genangan. Introgresi *sub1* teridentifikasi dengan adanya pita pada progeni persilangan (F1CA) yang tadinya hanya ada pada sampel padi donor tapi tidak pada padi *host*. Sementara marka kodominan RM464A tidak dapat membedakan sampel donor dengan *host*, sesuai dengan publikasi sebelumnya yang menyatakan marka ini lebih sesuai untuk varietas padi Indica (Xu *et al.* 2004). Walaupun marka kodominan RM219 dapat membedakan sampel donor dari sampel *host*, namun perbedaan ukuran pitanya terlalu kecil (± 5 bp) sehingga pada sampel heterozygot hasil persilangan (F1) sulit dideteksi dan menyulitkan di lapangan. Penggunaan gel poliakrilamid juga telah diusulkan (Xu *et al.* 2004, Septiningsih *et al.* 2009, Shi *et al.* 2008), namun hal tersebut akan menjadikan metoda seleksi menjadi kurang praktis, mengingat banyaknya jumlah sampel yang dianalisis pada penelitian ini. Marka dominan lebih praktis untuk penelitian ini. AEX1 lebih dipilih daripada C173 karena ukuran amplikon yang lebih besar sehingga memudahkan analisis hasil percobaan.



Gambar 1. Hasil validasi marka toleransi genangan (*sub1*).

Keterangan : S, C, dan F1 menunjukkan sampel donor *sub1*, *host* Ciherang, dan F1 Ciherang-*sub1*. AEX1 dan C173 merupakan marka *sub1* dominan, sedangkan RM464A dan RM219 merupakan marka *sub1* kodominan. m = *size marker* dan w = air (kontrol negatif)

Uji genangan dan analisis PCR F1 Ciherang-*sub1* (CS)

Host Ciherang dan donor *sub1* disilangkan kemudian dilanjutkan penanamannya sampai panen. Biji F1 CS, bersama dengan Ciherang, tetua donor *sub1*, dan kontrol negatif IR42 ditanam pada petri dis, dipindahkan ke pot uji genangan (2 minggu), kemudian diuji genangan diuji genangan selama 2 minggu. Tanaman yang survive setelah uji genangan dan *recovery*, kemudian dipindahkan ke pot/ember. Sekitar 2 minggu - 1 bulan, diisolasi DNA dari sampel daun muda tanaman, diamplifikasi PCR dengan marka *sub1* AEX1, dilanjutkan dengan elektroforesis produk PCR, visualisasi gel serta dokumentasi menggunakan *gel doc*. Hasil yang diperoleh (Gambar 2) menunjukkan tanaman F1 *CS* yang telah melewati uji genangan mengandung pita *sub1* yang tadinya tidak ada pada Ciherang dan hanya ada pada donor *sub1*.

Gambar 2. Contoh hasil uji genangan dan analisis PCR F1 CS

Keterangan : A, dan B=contoh sebelum dan pada saat digenangi (14 hari). C=contoh hasil elektroforesis amplikon PCR. m=size marker, S=donor *sub1*, C=Ciherang, F1=F1CS, w=air (kontrol negatif).

Uji genangan dan analisis PCR BC1F1 CS

F1 terseleksi pada tahap di atas di*backcross* dengan *host* Ciherang, kemudian dilakukan rangkaian perlakuan seperti pada F1CS. Keberhasilan pembentukan BC1F1 CS terlihat dari adanya pita *sub1* hasil PCR sampel BC1F1CS (Gambar 3).

Gambar 3. Contoh hasil uji genangan dan analisis PCR BC1F1 CS

Keterangan : A, B, dan C=contoh sebelum, sedang, dan sesudah digenangi (14 hari). 1=Ciherang, 2=tetua donor *sub1*, 3-5=BC1F1 CS, 6=control sensitive genangan IR42. D=contoh hasil elektroforesis amplikon PCR. m=size marker, S=donor *sub1*, C=Ciherang, BC1F1=BC1F1CS, w=air (kontrol negatif).

Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan konsistensi marka AEX1 dalam membedakan sampel padi *host* Ciherang dan hasil persilangan (F1 C*S*) maupun *backcross* (BC1F1 C*S*). F1 C*S* dan BC1F1 C*S* telah terseleksi melalui uji genangan sehingga merupakan varietas Ciherang yang toleran genangan. Seleksi PCR berbantuan marka *sub1* merupakan konfirmasi berlangsungnya introgresi *sub1* dari donor ke *host*, ditunjukkan dengan adanya pita *sub1* pada hasil PCR sampel-sampel F1 C*S* (Gambar 2) dan BC1F1 C*S* (Gambar 3). Karena telah melewati seleksi uji genangan, semua sampel F1 C*S* maupun BC1F1 C*S* yang diuji memberikan hasil PCR yang positif. Hasil-hasil yang diperoleh juga mengkonfirmasi bahwa sifat toleransi genangan F1 C*S* dan BC1F1 C*S* disebabkan karena terintrogresinya gen *sub1* dari donor, bukan karena mekanisme *escape*, sebagaimana dilaporkan oleh peneliti lain menggunakan varetas yang berbeda (Xu *et al.* 2004, Septiningsih *et al.* 2009)

Walaupun F1 C*S* dan BC1F1 C*S* yang telah diperoleh merupakan varietas Ciherang yang toleran genangan, namun karaker agronominya masih 50% (F1) dan 75 % (BC1F1) dari karakter padi Ciherang, atau belum sebaik Ciherang. Seperti halnya varietas toleran genangan hasil rekayasa yang ada pada saat ini (Tabel 1), yang mengalami penurunan kualitas *host* karena introgresi donor belum terminimalisir. Kelanjutan penelitian ini hingga BC5F1 (dalam pelaksanaan).

Tabel 1. Varietas padi toleran genangan hasil rekayasa (Xu *et al.* 2004, Sarkar *et al.* 2006, *Sub1* Rice News 2007)

Varietas	Lama berbunga (hari)	Lama matang (hari)	Tinggi (cm)	Produktivitas (ton/ha)
IR64-*Sub1* (IR07F102)	86	116	95	5,9
Swarna-*Sub1* (IR05F102)	104	134	85	5,3
Samba Mahsuri-*Sub1* (IR07F101)	98	126	85	6,5
TDK 1-*Sub1* (IR07F289)				
BR11-*Sub1* (IR07F290)		Sedang dikarakterisasi di IRRI		
CR1009-*Sub1* (IR07F291)				
PSB RC68	98	121	121	6,5
IR49830-7-1-2-3	100	130	110	?

KESIMPULAN

Introduks toleran genangan berbantuan uji genangan dan PCR dengan marka *sub1* AEX1 pada varietas Cherang berhasil dilakukan hingga BC1F1. Marka dominan AEX1 paling ideal dari marka *sub1A* yang dicobakan dan dapat mendeteksi introgresi gen *sub1* dari padi donor toleran genangan pada progeni persilangan (F1 dan BC1F1 C*S*), dan akan digunakan untuk percobaan-percobaan *backcross* selanjutnya hingga BC5.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis beserta tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kementrian Riset dan Teknologi, atas dana yang telah diberikan (Nomor Kontrak : 021/RT/D.PS1PTN/Insentif/PPK/I/2010, Tanggal : 15 Januari 2010) sehinga penelitian ini dapat berlangsung. Selain itu juga kepada LPPM IPB, FMIPA IPB, Departemen Biokimia IPB, LT IPB, BB Biogen, dan LIPI atas kerjasama, pengelolaan administrasi, dukungan serta fasilitas SDM dan laboratorium. Juga kepada para asisten peneliti dan teknisi (Dimas Adrianto Msi, Aniversari Apriana MSi, Joel Rivandi Sinaga SSi, Euis Marlina, Rudy Munzirwan, SSi, Sugihartati, Taufik) atas kerja keras yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

Ella ES, Kawano N, Yamauchi Y, Tanaka K, Ismail AM (2000) Blocking ethylene perception enhances flooding tolerance of rice. *Indian J. Plant Physiol*. 30: 813-819.

Fukao T, Bailey-Serres J (2008) Submergence tolerance conferred by *Sub1A* is mediated by SLR1 and SLRL1 restriction of gibberellin responses in rice. *PNAS*. 105: 16814-19

Gong Z, Chinnusamy V, Zhu J-K (2008) The Molecular networks of abiotic stress signallng, *Ann. Plant Rev*. 33: 388-416

Herdt RW (1991) Research priorities for rice biotechnology, dalam Khus GS dan Toenniessen GH (ed), *Rice Biotechnology*, IRRI, CAB International, Wallingford, UK

Jackson MB dan Ram PC (2003) Physiological and molecular basis of susceptibility and tolerance of rice plants to complete submergence. *Ann. Bot*. 91: 227-41.

Jackson MB, Waters L, Setter TL, Greenway H (1987) Injury to rice plants caused by complete submergence: a contribution by ethylene (ethene). *J. Exp. Bot*. 38: 1826-38.

Lu J J. and Chang T T. 1980. *Rice in Temporal and Spatialprospective*. In Rice Production and Utilization. Bor s. Luh (ed). West Port: AVI Pb.

Mackill DJ, Septiningsih E, Pamploma AM, Sanches D, Iftekhar A, Masudussaman AS, Collard B, Neeraja C, Vergara G, Maghirang-Rodriquez, R, Heuer S, Ismail AM (2007) Marker assisted selection for submergence tolerance in rice. *Mol. Plant Breeding* 5: 207-208.

Mohanty HK, Mallik S, Grover A (2000) Prospect of improving flooding tolerance in lowland rice varieties by conventional breeding and genetic engineering. *Curr. Sci.* 78: 132-140.

Perata P, Voesenek LACJ (2006) Submergence tolerance in rice requires *Sub1A*, an ethylene-response-factor-like gene. *Trends in Plant Sci*. 12: 43-46.

Redona ED, Mackill DJ (1996) Mapping quantitative trait loci for seedling vigor in rice using RFLPs. *Theor. Appl. Genet*. 92: 395-402.

Sambrook J, Fritsch EF, Maniatis T (1989) Molecular Cloning. A Laboratory Manual. 2nd ed., Books:1-3, Cold Spring Harbor Laboratory Press, USA.

Sarkar RK, Reddy JN, Sharma SG, Ismail AM (2006) Physiology basis of submergence in rice and implications for crop protection. *Curr. Sci.* 91: 899-906.

Septiningsih EM, Pamplona AM, Sanches DL, Neeraja CN, Vergara GV, Heuer S, Ismail AM, Mackill DJ (2009) Development of submergence tolerant rice cultivars: The *Sub1* locus and beyond. *Annals of Botany* 103:151-160.

Sub1 Rice News (2007) IRRI-Japan project on submergence-tolerant rice varieties. Vol 1 October-December.

Thach TD (1999) A deepwater tolerant gene detected in the common wild rice. *Omonrice*. 7: 174-6.

Xu K, Deb R, Mackill DJ (2004) A microsatellite Marker and a Codominant PCR-Based Marker for Marker-assistedselection of Submergence Tolerance in Rice. *Crop Sci*. 44:248–253.

PENGEMBANGAN PISANG KEPOK UNTI SAYANG MELALUI PENERAPAN GOOD AGRICULTURAL PRACTICES (GAP)

(Developing of Kepok Banana var. Unti Sayang Through Good Agricultural Practices (GAP) Application)

Mohamad Rahmad Suhartanto, Sobir, Heri Harti
Pusat Kajian Buah Tropika (PKBT), LPPM IPB

ABSTRAK

Pisang merupakan komoditas yang sangat potensial dikembangkan untuk menunjang ketahanan pangan. Namun produksi pisang nasional mendapat ancaman serangan penyakit layu darah yang ditularkan oleh serangga melalui bunga jantan pisang. Berdasarkan kegiatan penelitian tahun 2009, PKBT IPB bekerjasama dengan Pemerintah Daerah Propinsi Sulawesi Selatan telah melepas varietas unggul pisang kepok tanpa bunga jantan dengan nama Pisang Unti Sayang. Pisang ini tahan (*escape*) terhadap penyakit layu darah. Kegiatan perbanyakan benih pisang dan pengembangan Standar Operasional Prosedur (SOP) dengan tujuan untuk didiseminasikan kepada para petani juga mulai dilakukan. Kegiatan yang dilakukan tahun 2010 meliputi diseminasi benih pisang Unti Sayang, diseminasi penerapan *Good Agricultural Practices* (GAP) di tingkat petani, serta sosialisasi pengolahan minimum pisang kepok. Pelatihan dan sosialisasi GAP pisang Kepok Unti Sayang telah dilakukan di Kecamatan Teras, Boyolali dan Kecamatan Ciampea, Bogor. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman dengan perlakuan SOP lebih baik dibandingkan non SOP. Pengembangan teknologi pengolahan minimum pisang dilakukan dengan cara dicacah dan dikeringkan. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan gizi olahan sederhana pisang kepok pada H0 (saat panen) hampir sama dengan beras/nasi.

Kata kunci : Ketahanan pangan, pisang kepok, diseminasi, *Good Agricultural Practices* (GAP), pengolahan minimum.

ABSTRACT

Banana is the fruit commodity that very potential to be developed to support food security. Nevertheless, national banana production has been threatened by blood desease attack which is spreaded by insects through the banana male bud. Based on the previous research activities (year 2009), PKBT (Center for Tropical Fruit Studies/CETROFS) IPB in collaboration with the Goverment Official of South Sulawesi Province have been released high yielding variety of kepok budless mutant banana (Var. Unti Sayang), raises the hope of blood desease problem solution. In that year, it has been started to propagate banana seedlings and developed Standard Operation Procedure (SOP) of kepok Unti Sayang production to be disseminated to farmers. These activities continue in this year (year 2010) includes the dissemination of Unti Sayang Banana seeds, dissemination of application of Good Agricultural Practices (GAP) at the farmer level, and socialization of minimum processing of kepok banana. Training and socialization of GAP Unti Sayang Banana has been conducted in Teras Subdistrict, Boyolali and Ciampea Subdistrict, Bogor. The result showed that banana plant growth with SOP treatment is faster than non-SOP treatment. Intermediate technology of minimum processing was done by using simple chopping and drying methode. Nutrition analysis showed that the nutrients content of dried banana chopper (H0 phase harvested) is almost similar with rice.

Keywords : Food security, kepok banana, dissemination, *Good Agricultural Practices* (GAP), minimum processing.

PENDAHULUAN

Pisang merupakan komoditas buah yang sangat potensial dikembangkan untuk menunjang ketahanan pangan. Hal ini dikarenakan pisang memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan buah tropika lainnya yaitu keunggulan preferensi, nutrisi, *utility*, produktivitas, dan adaptasi. Produksi pisang Indonesia menduduki tempat kelima setelah India, Ekuador, Brasil, Cina dan Filipina dengan besaran 3,6 juta ton atau 5 persen dari produksi dunia (Deptan, 2004). Dari segi nutrisi, pisang mempunyai nilai gizi yang sangat baik dibandingkan sumber pangan lainnya dalam hal kandungan protein, vitamin, dan mineral, sehingga pisang dapat digunakan sebagai bahan pangan alternatif pengganti beras, khususnya di daerah rawan pangan. Pisang juga merupakan salah satu komoditas yang tingkat utilitasnya sangat lebar, yaitu mulai untuk konsumsi segar, makanan olahan, tepung, serta dapat juga digunakan sebagai makanan pendamping ASI.

Tingkat produktivitas pisang sangat tinggi dibandingkan sumber karbohidrat lainnya. Produktivitas beberapa pisang unggul dapat mencapai 24 ton/ha/tahun. Apabila dikonversi dengan jumlah karbohidrat, dengan asumsi kandungan pati sebesar 25 persen, maka pisang unggul dapat memproduksi karbohidrat sebesar 6 ton/ha/tahun. Pisang memiliki daya adaptasi yang baik, karena dapat tumbuh baik di lahan kering atau daerah dengan curah hujan rendah. Selan itu, pisang dapat ditumbuhkan di sekitar rumah dan dapat berbuah tanpa penanaman baru, sehingga sangat efisien dalam hal pemanfaatan tenaga kerja.

Selain memiliki keunggulan preferensi, *utility*, produktivitas, dan adaptasi, pisang juga merupakan komoditas yang sangat strategis, hal ini terlihat dari besarnya potensi permintaan baik dalam negeri maupun luar negeri. Pada beberapa tahun terakhir, produksi buah pisang Indonesia mengalami penurunan sebesar 140.135 ton, yaitu dari 5.177.607 ton di tahun 2005 menjadi 5.037.472 ton di tahun 2006 (Deptan, 2007). Penurunan produksi pisang tersebut terutama disebabkan oleh tingginya serangan penyakit serta belum diterapkannya prinsip *Good Agricultural Practicess* (GAP). Prinsip GAP meliputi semua sistem produksi untuk menghasilkan buah yang bermutu, aman bagi konsumen serta menjaga kelestarian lingkungan. Tingginya serangan penyakit terutama penyakit layu darah memperparah penurunan produksi pisang nasional. Kegiatan agribisnis

pisang kepok hampir tidak pernah terdengar lagi di Kalimantan Barat dan Selatan sejak pertanaman di daerah tersebut hancur oleh serangan penyakit layu darah dan hampir semua *rhizome* telah terinfeksi. Penyakit layu darah disebabkan oleh bakteri *Ralstonia* Race 2 yang mengakibatkan epidemi hanya pada pisang plantain (ABB atau BBB), terutama pisang kepok yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Upaya menghambat penyebaran penyakit dengan memotong jantung pisang seringkali kurang efektif, karena faktor tinggi tanaman pisang.

Penemuan pisang kepok mutan yang tidak memiliki jantung (*budless mutant*) di Sulawesi tahun 1992 memberikan harapan pada banyak petani terhadap penyelesaian masalah penyakit layu darah. Ekplorasi oleh tim Budenhagen tahun 2004-2006 menghasilkan tiga mutan. Mutan D-15 adalah mutan yang paling tinggi produksi dan kualitas buahnya. Eksplorasi ini dilanjutkan oleh tim PKBT (Pusat Kajian Buah Tropika) IPB ke Pulau Selayar, Sulawesi Selatan mulai tahun 2008. Berdasarkan eksplorasi tersebut diketahui bahwa mutan D-15 belum pernah terserang penyakit layu darah di banyak desa di Sulawesi. Selain tahan terhadap penyakit layu bakteri (*Blood Desease Bacterial*), pisang kepok ini berpotensi sebagai salah satu bahan pangan alternatif karena produkstivitasnya tinggi (40 kg/pohon). Pada penelitian tahun I (tahun 2009) telah dilakukan pelepasan varietas dengan nama Unti Sayang (SK Mentan No. 2048/kpts/SR.120/5/2010) dan perbanyakan bibitnya telah mulai dilakukan. Setelah pelepasan varietas dan perbanyakan bibit, pada tahap selanjutnya (tahun 2010) akan dilakukan penerapan GAP dan pengembangan agribisnis pisang kepok Unti Sayang dengan sistem kemitraan dengan petani.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan uji coba penerimaan varietas unggul pisang kepok tanpa bunga jantan varietas Unti Sayang oleh petani dengan menerapkan *Good Agricultural Practices* (GAP). Disamping itu juga untuk mengembangkan agribisnis pisang kepok Unti Sayang dengan sistem kemitraan dengan petani.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di laboratorium dan kebun mitra di Bogor dan Jawa Tengah. Penelitian dilaksanakan selama 12 bulan, yaitu Maret – Nopember 2010. Bentuk kegiatan yang dilaksanakan tahun anggaran 2010 mencakup dua kegiatan utama, yaitu diseminasi benih pisang kepok Unti Sayang yang telah dihasilkan pada tahun 2009 serta penerapan *Good Agricultural Practices* (GAP) di tingkat petani agar dihasilkan produk bermutu. Selain mengembangkan pemasaran produk segar, juga dilakukan sosialisasi pengolahan minimum pisang kepok yang dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan pangan pokok.

Pelatihan Budidaya Pisang Berbasis GAP

Teknologi budidaya pisang berbasis GAP dapat dilakukan dengan penerapan SOP yang telah disusun. SOP tersebut perlu didesiminasikan dan diinformasikan kepada petani dalam bentuk pelatihan. Pelatihan akan diberikan kepada petani dalam tiga tahap yaitu: (1) teknologi produksi mulai dari pemilihan lahan, pembibitan, proses produksi hingga panen; (2) teknologi pengendalian hama terpadu pada pisang dan (3) sistem perluasan dan pengembangan pasar pisang. Pelatihan dilaksanakan dengan sistem pemberian materi dan diskusi di kelas. Pelatihan ini akan melibatkan peneliti IPB, petani, Dinas Pertanian Kabupaten Bogor dan Jawa Tengah. Untuk mengevaluasi pemahaman petani terhadap materi yang diberikan perlu dilakukan *Pre Test* sebelum materi dimulai dan *Post Test* setelah materi selesai diberikan.

Diseminasi Bibit Pisang dan Penerapan GAP

Pelatihan SOP yang sudah diberikan kepada petani perlu diaplikasikan di lapangan dalam bentuk demplot di dua lokasi. Demplot dibuat dengan luasan 2500 m^2 untuk masing-masing lokasi. Dalam masing-masing demplot terdapat perlakuan SOP budidaya pisang dan non SOP.

Dalam pembuatan demplot ini petani sudah dilibatkan seawal mungkin yaitu mulai dari penentuan lokasi tanam. Lahan yang dipilih yaitu lahan yang bebas dari penyakit layu pisang/lahan endemis, subur dengan lapisan top soil

tanah yang cukup tebal dan banyak mengandung humus serta memiliki ketersediaan air tanah yang sesuai untuk pisang.

Parameter yang diamati adalah pengamatan pertumbuhan vegetatif tanaman (tinggi tanaman, jumlah daun, lingkar batang), pertumbuhan generatif tanaman (umur berbunga, umur panen, produksi dan kualitas panen), pengamatan hama dan penyakit yang menyerang tanaman. Selain itu juga dilakukan analisis usaha tani pisang dan perhitungan B/C ratio secara hipotetik.

Anakan yang dihasilkan dari demplot pisang dipelihara dan dijadikan bahan diseminasi ke petani setempat. Dengan asumsi 1 pohon menghasilkan 3 anakan, maka akan diperoleh bahan tanaman (benih) dengan luasan 1.5 ha untuk tahun selanjutnya (2011). Diharapkan kegiatan ini dapat bergulir ke petani lain melalui benih yang dihasilkan sebelumnya.

Pengembangan Agribisnis Pisang Kepok Unti Sayang dengan Sistem Kemitraan dengan Petani

Perluasan dan pengembangan pasar bagi produk unggul yang dihasilkan dilakukan melalui pengembangan jalur khusus, dimana pada jalur tersebut terdapat insentif atas peningkatan kualitas produk yang dihasilkan. Saluran pasar yang dikembangkan diharapkan dapat menjaga kualitas produk dan menjamin produk yang berkualitas sampai di tangan konsumen dengan baik dan terjadinya transaksi yang saling menguntungkan bagi pelaku usaha yang terlibat. Pada akhir tahun 2010 akan dilakukan pengembangan pasar dengan PT Mulya Raya sebagai disributor buah segar. Selain itu juga akan dilakukan sosialisasi pengolahan minimum pisang kepok Unti Sayang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelatihan Budidaya Pisang Berbasis GAP

Pelatihan dan sosialisasi GAP pisang telah dilakukan di dua daerah yaitu di Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah dan Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Pelatihan dan sosialisasi GAP pada Kelompok Tani Budi Mulya III di Kecamatan Teras, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah dilakukan pada tanggal 6 Mei 2010. Sementara itu, kegiatan pelatihan di Kabupaten Bogor dilakukan tanggal 15 Juni, 5 Agustus

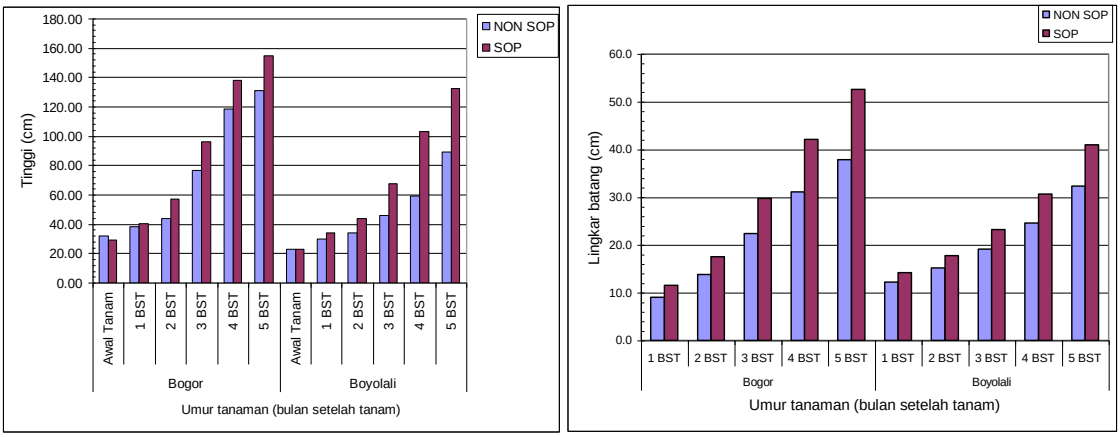
dan 27 September 2010. Materi pelatihan meliputi teknologi produksi mulai dari pemilihan lahan, pembibitan, proses produksi hingga panen dan teknologi pengendalian hama terpadu pada tanaman pisang.

Sosialisasi GAP pisang di Kabupaten Boyolali dihadiri oleh lebih dari 20 petani dan peneliti dari Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah, Kasie Hortikultura Dinas Pertanian Kabupaten Boyolali, Kepala Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) serta Penyuluh Pertanian Lapangan dan (PPL) Jawa Tengah. Pelatihan di Kabupaten Bogor juga dihadiri lebih dari 20 petani dan melibatkan Kasie Hortikultutara Dinas Pertanian dan Kehutanan Kabupaten Bogor. Respon petani terhadap pelatihan sangat baik, terutama dengan adanya pengembangan varietas baru pisang Kepok Unti Sayang. Pada saat kegiatan pelatihan, juga dilakukan peninjauan lahan yang dijadikan demplot pertanaman pisang dengan menerapkan SOP.

Diseminasi Bibit Pisang dan Penerapan GAP

Penerapan SOP dilakukan dengan membuat demplot. Demplot dibuat di Kecamatan Teras, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah dan di Kecamatan Ciampea, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Penanaman di Kabupaten Boyolali dilakukan pada tanggal 20 Mei 2010, sementara penanaman di Kabupaten Bogor dilakukan pada bulan Juni 2010. Pada masing-masing demplot terdapat dua perlakuan yaitu perlakuan SOP dan non SOP. Perlakuan SOP dibuat sesuai standar budidaya yang telah ditetapkan dan perlakuan non SOP dibuat sesuai dengan cara budidaya yang dilakukan petani.

Penerapan SOP pisang dalam proses produksi diaplikasikan mulai dari penentuan lokasi tanam, penyiapan lahan dan bibit, sampai kegiatan produksi yang meliputi penanaman, pengairan, sanitasi kebun, pemupukan, penjarangan dan pembungkusan buah, pemotongan jantung, penyanggahan, pengendalian hama dan penyakit terpadu serta panen. Saat ini kegiatan SOP baru sampai pada tahap pemupukan anorganik tahap II. Gambar 1 menunjukkan bahwa perlakuan SOP menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dibanding perlakuan non SOP, terutama untuk tinggi tanaman dan lingkar batang.



Gambar 1. Tinggi Tanaman dan Lingkar Batang Pisang dengan Perlakuan SOP dan non SOP di Dua Lokasi.

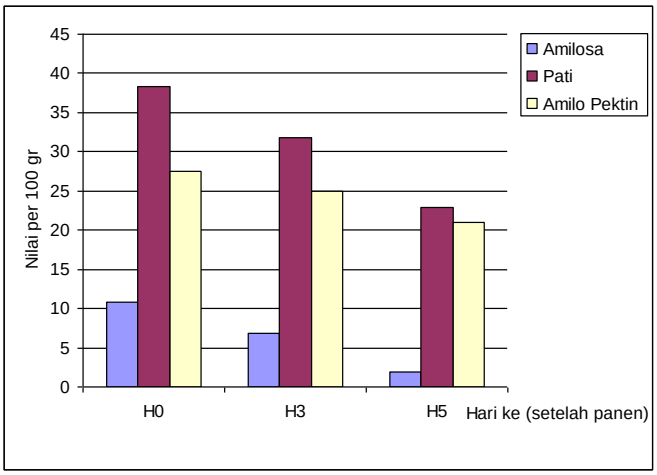
Dalam rangka memenuhi permintaan petani terhadap bibit pisang kepok Unti Sayang, perbanyakan bibit dari rumpun pohon induk yang ada di KP Pasir Kuda masih terus dilakukan. Perbanyakan bibit dilakukan secara konvensional dan kultur jaringan. Selain di Bogor, perbanyakan bibit secara konvensional juga dilakukan di Balai Benih Induk di Boyolali.

Pengembangan Agribisnis Pisang Kepok Unti Sayang dengan Sistem Kemitraan dengan Petani

Pengolahan minimum pisang kepok dilakukan dengan tujuan untuk penyediaan bahan pangan alternatif bagi daerah bencana dan rawan pangan. Pengolahan pisang kepok dilakukan dengan cara sederhana, yaitu dipotong kecil-kecil dengan ukuran mulai 0,5 cm, 1 cm dan dicacah halus tidak beraturan. Pada tahap awal percobaan dilakukan pengolahan pada pisang yang masih muda (belum matang fisiologis). Setelah pisang dipotong kecil-kecil, pisang dijemur sampai 3 hari dengan kadar air 12%, setelah itu disimpan 1 bulan. Setelah disimpan olahan pisang dimasak seperti membuat bubur.

Pengolahan pisang pada tahap awal menghasilkan bentuk akhir yang kurang bagus, karena pisang tidak dapat menjadi bubur setelah dimasak. Hal ini diduga karena pisang yang diolah terlalu muda. Dari hasil pengamatan juga diketahui bahwa pengolahan pisang dengan sistem dicacah halus lebih baik daripada dipotong dengan ukuran 0,5 cm dan 1 cm.

Pada tahap selanjutnya dilakukan pengolahan pada buah pisang yang sudah tua (matang fisiologis). Proses pengolahan yang dilakukan sama dengan tahap awal, tetapi hanya dengan dicacah halus (tidak beraturan). Hasil olahan setelah dimasak dapat menjadi bubur dan sesuai dengan yang diharapkan. Pada tahap ini juga dilakukan analisis pati, amilosa dan amilopektin pisang dengan berbagai tingkat ketuaan yaitu H0 (saat panen), H2 (2 hari setelah panen) dan H5 (5 hari setelah panen). Dari hasil analisis diketahui bahwa pisang yang diolah pada H0 (saat panen) menunjukkan hasil kandungan amilosa, amilopektin dan pati yang lebih baik (Gambar 2). Semakin matang pisang maka semakin rendah kandungan amilosa, amilopektin dan pati. Analisis gizi terhadap hasil olahan sederhana pisang Kepok telah dilakukan. Analisis gizi yang diuji adalah berupa protein, karbohidrat, *dietary fiber*, kalori, Fe, magnesium, sodium dan kalium.



Gambar 2. Analisis Kandung Amilosa, Amilopektin dan Pati Pisang Kepok dengan Berbagai Tingkat Kematangan.

Berdasarkan hasil Tabel 1 diketahui bahwa kandungan gizi olahan sederhana pisang Kepok dengan dicacah, dijemur dan disajikan dalam bentuk bubur hampir sama bagusnya dengan kandungan gizi beras/nasi. Bahkan kandungan *dietary fiber*, kalori, dan kalium pisang olahan lebih tinggi dibandingkan beras/nasi. Pengolahan minimum pisang Kepok sangat cocok dikembangkan di masyarakat. Teknologi yang digunakan sangat sederhana, mudah dilakukan, bisa disimpan lama dan kandungan gizi dari produk olahan hampir sama dengan beras. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa olahan yang

disimpan lebih dari 4 bulan masih menunjukkan mutu yang bagus. Hasil dari olahan sederhana pisang ini cocok digunakan sebagai bahan diversifikasi pangan pokok terutama untuk daerah rawan pangan.

Tabel 1. Analisis Gizi Olahan Sederhana Pisang Kepok

Parameter	Satuan	Hasil analisis /100 g	
		Pisang Olahan	Beras/Nasi
Protein	% w/w	0.73	8
Karbohidrat	% w/w	31.04	79
Dietary Fiber	% w/w	**1.4**	**1.3**
Kalori	cal/g	**3848**	**3700**
Iron, Fe	ppm	<0.05	0.5
Magnesium, Mg	ppm	125.12	250
Sodium, Na	ppm	nd	nd
Kalium, K	ppm	**1421.28**	**1150**

Selain uji analisis gizi, juga dilakukan uji preferensi/kesukaan konsomen terhadap produk pengolahan minimum pisang Kepok. Sebagian besar (60%) responden menyukai rasa produk olahan minimum pisang Kepok, 70% menyukai tekstur dan 50% menyukai warna dan aroma. Dari hasil uji juga diketahui bahwa 10% responden menyukai penyajian olahan sederhana dalam bentuk bubur ditambah garam. Sebanyak 30% responden menyukai bubur ditambah gula dan 60% menyukai bubur ditambah gula dan sedikit garam.

KESIMPULAN

Pada tahun I (tahun 2009) telah dilakukan kegiatan pelepasan varietas dan perbanyakan bibit pisang Kepok Unti Sayang. Setelah kegiatan pelepasan varietas dan perbanyakan bibit, pada tahun 2010 dilakukan diseminasi benih pisang kepok Unti Sayang berbasis *Good Agricultural Practices* (GAP) di tingkat petani agar dihasilkan produk bermutu. Teknologi budidaya pisang berbasis GAP dilakukan

dengan penerapan SOP yang telah disusun. Diseminasi SOP tersebut dilakukan dalam bentuk pelatihan kepada para petani. Pelatihan dan sosialisasi GAP pisang Kepok Unti Sayang telah dilakukan di Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah dan Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Pelatihan SOP yang sudah diberikan kepada petani diaplikasikan di lapangan dalam bentuk demplot di Kecamatan Ciampea, Kabupaten Bogor dan Kecamatan Teras, Kabupaten Boyolali. Hasil pengamatan tanaman di lapangan menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman dengan perlakuan SOP lebih baik dibandingkan non SOP. Untuk memenuhi permintaan petani terhaap bibit pisang Kepok Unti Sayang, maka perbanyakan bibit masih terus dilakukan baik secara konvensional maupun secara kultur jaringan.

Pengembangan teknologi pengolahan minimum pisang menjadi buah setengah kering menjadi alternatif bahan pangan pokok. Pengolahan pisang Kepok dilakukan dengan cara sederhana yaitu dengan dicacah dan dikeringkan. Dari hasil analisis diketahui bahwa pisang yang diolah pada H0 (saat panen) menunjukkan hasil kandungan amilosa, amilopektin dan pati yang lebih baik. Dari hasil analisis gizi juga diketahui bahwa kandungan gizi olahan sederhana pisang kepok hampir sama bagusnya dengan kandungan gizi beras/nasi. Bahkan kandungan *dietary fiber*, kalori, dan kalium pisang olahan lebih tinggi dibandingkan beras/nasi. Hasil analisis preferensi konsumen menunjukkan bahwa sebagian besar (60%) responden menyukai rasa produk olahan minimum pisang kepok, 70% menyukai tekstur dan 50% menyukai warna dan aroma.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan ucapan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Kompetitif Penelitian Strategis Nasional TA 2010. Hal ini sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Kompetitif Penelitian Strategis Nasional Nomor : 189/SP2H/PP/DP2M/III/2010, tanggal 01 Maret 2010.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pertanian. 2004. Direktorat Perbenihan, Direktoral Jenderal Bina Produksi Hortikultura. Pedoman Penilaian dan Pelepasan Varietas Hortikultura. Jakarta.

Departemen Pertanian. 2004. Pusat Data dan Informasi Pertanian. http//www.deptan.go.id.

Departemen Pertanian. 2007. Pusat Data dan Informasi Pertanian.

Departemen Pertanian. 2008. Enam Pilar Kegiatan Pengembangan Hortikultura Tahun 2008. Jakarta.

Gubbuk, H. and M. Pekmezci. 2004. *In vitro* propagation of some new banana types (*Musa* spp.). Turk J. Agric. For. (28)355-361.

Gupta, P.P. 1986. Eradication of mosaic disease and rapid clonal multplication of bananas and plantains through meristem tip culture. Plant Cell, Tissue, Organ Culture (6):33-39.

Harti, Heri, Sobir, Sri Setyati, dan Muhammad Rahmad Suhartanto. 2007. *Acuan Standar Operasional Produksi Pisang*. Bogor: PKBT-IPB.

Imelda, M. 1991. Penerapan teknologi in vitro dalam penyediaan bibit pisang. Prosiding Seminar Bioteknologi dan Lokakarya Biopolimer untuk Industri, Bogor. 10-11 Desember 1991. h.71-79.

Lee, S.W. 2006. Micropropagation of cavendish banana in Taiwan. Food and Fertilizer Techbology Center, Taiwan. E-mail: fftc@agnet.org

Mariska I. dan D. Sukmadjaja. 2003. Perbanyakan abaka (*Musa textilis* Nee) melalui kultur jaringan. Balai Besar Litbang Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian. Monograp. 14 hal.

Nasir, N., Prisdiminggo, M. Nazam. 2006. Teknologi pengadaan bibit pisang sehat secara cepat, sederhahana dan bermikoriza untuk lahan marginal. www.ntb. litbang deptan.go.id [23 Januari 2008].

OECD/FAO. 2007. *Agricultural Outlook 2007-2016*. Paris: OECD Publications.

Priyono and S. Mawardi, 1993. Kajian penggunaan pisang sebagai penaung pada kopi dan kakao. I. Penyediaan bibit secara *in vitro*, pembentukan dan perakaran bud-like body pada *Musa paradisiaca*. Pelita Perkebunan. 9(1)29-35.

Rismunandar. 1980. Bertanam Pisang. Sinar Baru. Bandung. 77 hal.

Simonds, N.W. 1970. Bananas. Longman. London. 512 hal.

Suhardiman, P. 2008. Budidaya Pisang Cavendish. Kanisius. Yogyakarta. 79 hal

Strosse, H., I. Van den Houwe, and B. Panis. 2004. Banana cell and tissue culture-review. *In* Banana Improvement: Cellular, Molecular Biology, and induced Mutation. S.M. Jain; R. Swennen (Ed.). 13p. Science Pu. Inc. Enfield, USA.

Watimena, G.A. 1988. Biotek yang menunjang pertanian dan industri yang tangguh dan berkelanjutan. Seminar Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi untuk Menunjang Pembangunan Pertanian dan Industri yang Tangguh dan Berkelanjutan. IPB. Bogor, 21-22 September 1988.

IBM USAHA PENGOLAHAN SUSU PASTEURISASI DAN BIO YOGURT PT D-FARM AGRIPRIMA

(IbM of Milk Pasteurization and Bio Yogurt at Small Industry PT D-Farm Agriprima)

Rarah R. A. Maheswari[1)], Zakiah Wulandari[1)]

[1)]Dep. Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan, IPB

ABSTRAK

Keamanan pangan saat dianggap sangat penting pada industri makanan. Konsumen saat ini telah menyadari pentingnya keamanan pangan, sehingga kualitas dan jaminan keamanan pangan menjadi prioritas pada industri makanan. Penerapan *good manufacturing practices* (GMP) dan *standard sanitation operating procedure* (SSOP) pada pengolahan pangan adalah salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menjamin keamanan pangan. GMP dan SSOP merupakan *prerequisite* untuk sistem HACCP. Ketersediaan sistem produksi dan sistem pemasaran yang mudah diterapkan pada skala industri kecil sangat diperlukan untuk menjamin produk yang dihasilkan aman dan sehat. Hal ini akan meningkatkan kepercayaan konsumen untuk membeli dan mengkonsumsi produk yang dihasilkan industri kecil. Produk olahan susu berkualitas tidak hanya dapat diproduksi oleh industri besar, tapi juga dapat diproduksi pada skala kecil (kelompok peternak, koperasi).

Unit pengolahan susu D-Farm (PT D-Farm Agriprima) merupakan salah satu produsen susu skala kecil yang diharapkan juga mampu memproduksi produk olahan susu yang aman dan berkualitas. Tujuan kegiatan ini adalah melakukan observasi dan menyusun dokumen standar untuk penerapan sistem jaminan keamanan pangan pada proses pengolahan susu pasteurisasi dan yogurt di unit pengolahan susu D-Farm (PT D-Farm Agriprima).

Pelaksanaan kegiatan telah menghasilkan beberapa output yaitu manual *Good Handling Practices* (GHP), *Good Manufacturing Practices* (GMP), *Good Distribution and Good Retailing Practices* (GDP dan GRP) yang disusun dalam bentuk instruksi kerja, serta instruksi kerja sanitasi dan higiene karyawan dan ruangan, instruksi kerja produksi susu pasteurisasi dan produksi yogurt. Manual dan instruksi kerja ini akan terus disempurnakan. Penyusunan standar operasional prosedur (SOP) pengolahan susu fermentasi dan susu pasteurisasi, serta pelatihan pengolahan susu fermentasi dan susu pasteurisasi merupakan upaya untuk introduksi teknologi pengolahan yang berkaitan dengan cara berproduksi yang baik. Penyusunan Standar operasional prosedur (SOP) telah mencapai 100%. Selain kegiatan tersebut diatas, karyawan/manajemen D-Farm juga diberi pelatihan *Food Safety and Sanitation*. Pelatihan karyawan tentang higiene dan sanitasi merupakan salah satu poin penilaian dalam pengurusan MD di BPOM RI.

Sampai **s**aat ini telah diperoleh persetujuan pendaftaran produk pangan dari BPOM RI untuk 5 jenis produk susu pasteurisasi tertanggal 29 Juni 2010**.** Jenis-jenis produk yang telah diterima yaitu 1) Susu pasteurisasi rasa coklat (BPOM MD 205128001212); 2) Susu pasteurisasi rasa vanila (BPOM MD 205128002212); 3) Susu pasteurisasi plain (BPOM MD 205128003212); 4) Susu pasteurisasi rasa coklat (BPOM MD 205128004212) dan 5) Susu pasteurisasi rasa kopi moka (BPOM MD 205128002212). Persetujuan pendaftaran produk pangan dari BPOM RI untuk 5 jenis produk yogurt diperoleh tanggal 5 Agustus 2010 yaitu 1) Minuman yogurt berperisa stroberi (BPOM RI MD 205228006212) 2) Minuman yogurt berperisa mangga (BPOM RI MD 205228007212), 3) Minuman yogurt berperisa sirsak (BPOM RI MD 205228008212), 4) Minuman yogurt berperisa leci (BPOM RI MD 205228009212) dan 5) Minuman yogurt berperisa jambu (BPOM RI MD 205228010212).

Teknologi yang diintroduksikan di unit pengolahan susu D-Farm (PT D-Farm Agriprima) diharapkan dapat direplikasikan pada UMKM lainnya. Kualitas produk akhir yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh kualitas bahan baku susu segar. Oleh karena itu sistem yang diterapkan di D-Farm selain direplikasikan kepada kelompok peternak, koperasi atau pengusaha kecil pengolah susu dapat juga dapat diterapkan ditingkat peternak penghasil susu.

Kata kunci : IbM, Susu Pasteurisasi, Bio Yogurt.

ABSTRACT

Food safety is very important point in food industry. Nowadays consumers are more concern about food safety, therefore quality and food safety assurance take the top place in food industry. Application of GMP and SSOP in food processing is one of various ways to obtain food safety assurance. GMP and SSOP are prerequisite for HACCP system. Availability of production system and marketing system are easily applied at the small scale industry and make their products safe and healthy. Because of, it can increase consumer confidence to buy and to consume products. High Quality dairy products not only can be produced by big industry, but also can be produced at a small scale (cooperatives, farmers). PT D-Farm Agriprima as a small scale dairy industry is expected to produce guaranteed products which safe to eat. The objectives of this activity were: (1) observation on milk pasteurization, (2) yogurt production and arrangement process for quality assurance of work plan in order to obtain a HACCP certification plan. Implementation of activities have produced some output such as Standard Operational Procedure (SOP), Work Instruction Documents (including Good Distribution and Good Transportation Practices), Good Manufacturing Practices (GMP) Documents and Standard Sanitation Operating (SSOP) documents. Until now it has obtained approval of registration of food products from BPOM RI. D-Farm has obtained a license for 10 products (5 varians of pasteurized milk and 5 varians of yogurt).

Keywords : IbM, Pasteurisation milk, Bio Yogurt.

PENDAHULUAN

PT D-Farm Agriprima merupakan unit yang awalnya dikelola oleh Fakultas Peternakan IPB sejak tahun 1994 dengan aktivitas utama untuk mengembangkan usaha pengolahan susu. Pengembangan *D-Farm* merupakan implementasi model peternakan hulu hilir. Semenjak tahun 2007 unit pengolahan susu D-Farm dikelola oleh alumni Fakultas Peternakan IPB dengan mempekerjakan masyarakat di lingkar kampus, sehingga tidak ada lagi pegawai IPB yang terlibat secara langsung dalam manajemen unit pengolahan susu D-Farm. Dengan demikian pegawai fakultas Petenakan IPB yang terlibat sebelumnya di unit pengolahan susu D-Farm dapat melaksanakan tugas pokok dan fungsinya masing-masing secara optimal. Saat ini alumni-alumni yang

terlibat di unit pengolahan susu D-Farm membentuk perusahaan secara mandiri dengan nama PT D-Farm Agriprima. PT D-Farm Agriprima saat ini dipercaya untuk mengelola peralatan dan bangunan pengolahan susu yang dimiliki oleh Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan IPB.

Konsumsi susu masyarakat Bogor seperti halnya masyarakat Jawa Barat secara keseluruhan baru mencapai 7,0 liter per kapita per tahun. Meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan konsumsi susu nasional sebesar 7,7 liter per kapita per tahun, akan tetapi jumlah ini masih jauh dibandingkan konsumsi susu masyarakat DKI Jakarta yang mencapai 22 liter per kapita per tahun. Secara nasional, konsumsi susu masyarakat DKI Jakarta merupakan faktor pengungkit rata-rata konsumsi susu nasional. Meskipun demikian, angka tersebut jauh lebih rendah dibandingkan konsumsi susu di negara-negara maju atau berkembang lainnya (Malaysia dan Singapura).

Dalam konteks luas lainnya, pengembangan PT D-Farm Agriprima merupakan bentuk pemberdayaan petani peternak sapi perah untuk meningkatkan kesejahteraan mereka. Unit usaha D-Farm merupakan *fixed market* bagi kelompok petani peternak tersebut sehingga bisa lebih optimal dalam mengembangan budidaya *on farm* tanpa terkendala aspek pemasaran. Hingga saat ini D-Farm mampu menyerap 100 liter susu segar per hari yang berasal dari Farm Fakultas Peternakan, Peternakan Rakyat Darul Falah Bogor, dan Peternakan Sapi Perah Rakyat KUNAK Cibungbulang Bogor. Tidak semua hasil produksi susu kelompok peternak di wilayah Bogor terserap oleh D-Farm karena skala usaha saat ini yang relatif masih terbatas.

Dari gambaran di atas, maka pengembangan skala usaha PT D-Farm Agriprima memiliki nilai kepentingan yang tinggi dan berkaitan (serta melibatkan) banyak pihak. Kapasitas produksi D-Farm saat ini (100 liter per hari) masih dirasa kurang mengingat potensi pasar yang begitu tinggi di lingkungan Bogor. Di sisi lain, potensi bahan baku susu segar yang dihasilkan di wilayah Bogor juga masih sangat besar. Produksi susu di wilayah Bogor saat ini mencapai 227.500 liter per hari.

Pengembangan usaha diarahkan pada scale up usaha, perizinan MD produk dan peningkatan kualitas sumber daya manusia (SDM) karyawan D-

Farm. Saat ini D-Farm memiliki dua produk utama, yakni susu pasteurisasi (7 rasa) dan susu fermentasi yogurt (9 rasa). Pada konteks pendidikan, peningkatan skala usaha, perizinan MD, dan peningkatan kualitas SDM akan lebih meningkatkan kedekatan (proximity) PT D-Farm Agriprima dengan industri pengolahan susu. Hal ini akan berdampak positif bagi mahasiswa di lingkungan IPB atau pihak luar (peserta pelatihan) karena bisa belajar dari wahana yang mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

PERMASALAHAN MITRA

Dalam kerangka pengembangan usaha tersebut, D-Farm memiliki beberapa kendala, antara lain : (1). Keterbatasan peralatan distribusi dan pemasaran, (2). Keterbatasan prasarana distribusi untuk bisa lebih menjangkau pasar; dan (3). Keterbatasan sertifikasi produk untuk bisa mengakses segmen pasar yang lebih luas, seperti GIANT, Hypermart, HERO, Alfamart, Indomaret dan lainnya, (4). Keterbatasan kualitas SDM, untuk dapat menerapkan manajemen mutu dan keamanan yang baik, meliputi *Good Manufacturing Practices* (Tata Cara Produksi yang Baik) dan SSOP (Sanitary Standard Operational Procedure). Program ini disusun dalam rangka mengatasi berbagai kendala tersebut sehingga upaya pengembangan skala usaha D-Farm, perizinan MD, dan peningkatan kualitas SDM bisa terimplementasikan.

TUJUAN DAN MANFAAT

Tujuan dari kegiatan ini adalah :

1. Mendorong perkembangan dan meningkatkan kemampuan PT D-Farm Agriprima menjadi UMKM yang produktif dan memiliki usaha yang berkelanjutan dengan memanfaatkan hasil-hasil penelitian.
2. Meningkatkan kemampuan sumber daya manusia (SDM) PT D-Farm Agriprima.
3. Pada konteks pendidikan, peningkatan skala usaha, standardisasi produk, sertifikasi produk, dan peningkatan kualitas SDM akan lebih meningkatkan kedekatan PT D-Farm Agriprima dengan industri pengolahan susu. Hal ini

akan berdampak positif bagi mahasiswa di lingkungan IPB atau UMKM lainnya karena bisa belajar dari wahana yang mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

4. Mendapatkan UMKM pengolahan susu yang menyediakan prasarana distribusi yang tepat untuk lebih bisa menjangkau pasar dengan tetap mengacu pada Good Distribution Proses (GDP)
5. mendapatkan UMKM pengolahan susu yang tersertifikasi dari Badan POM, dengan secara konsisten melaksanakan manajemen mutu dan keamanan yang baik, meliputi GMP (Good Manufacturing Practicess) dan SSOP (Sanitary Standard Operational Procedure).
6. Menumbuhkembangkan industrialisasi skala kecil dan menengah berbasis susu di Kabupaten Bogor.
7. Peningkatan pendapatan dan kesejahteraan peternak sapi perah dan pelaku usaha pengolahan dan pemasaran susu sapi perah rakyat di Kabupaten Bogor.

Manfaat kegiatan ini adalah terwujudnya UMKM berbasis susu yang memiliki SDM yang baik dan dengan secara konsisten melaksanakan manajemen mutu dan keamanan yang baik, meliputi GMP (Good Manufacturing Practicess) dan SSOP (Sanitary Standard Operational Procedure) untuk menghasilkan produk olahan susu yang aman, sehat, utuh dan Halal (ASUH) sehingga bisa menjadi percontohan dan dapat diaplikasikan di daerah lain.

Luaran kegiatan yang diharapkan yaitu :

1. Sertifikasi MD dari Badan POM untuk produk yogurt dan susu pasteurisasi PT D-Farm Agriprima
2. Standar operasional prosedur (SOP) pengolahan susu fermentasi di PT D-Farm Agriprima
3. Standar operasional prosedur (SOP) susu pasteurisasi di PT D-Farm Agriprima
4. Standard sanitation operating procedure (SSOP) PT D-Farm Agriprima

METODE PENELITIAN

1. Sertifikasi Produk dan Peningkatan Kualitas SDM

Sertifikasi produk dilakukan sebagai bentuk komitmen D-farm terhadap mutu produk. Hal ini juga sejalan dengan ketentuan pemerintah dalam UU No. 69 tahun Label dan Iklan Pangan. Sertifikasi yang akan didaftarkan adalah : Perizinan Industri Rumah Tangga dari Departemen Perindustrian dan Perdagangan dan MD (Makananan Dalam) dari BPOM

Kegiatan persiapan antara lain :

a Penyusunan dan Pelatihan *Good Handling Practices* (GHP), *Good Manufacturing Practices* (GMP), *Good Distribution Practices* dan *Good Retailing Practices* (GDP dan GRP), *standard sanitation operating procedure* (SSOP) dan HACCP untuk pelaksanaan proses produksi.

b Penyusunan standar operasional prosedur (SOP) pengolahan susu fermentasi dan susu pasteurisasi, serta pelatihan pengolahan susu fermentasi dan susu pasteurisasi sebagai upaya introduksi teknologi pengolahan yang berkaitan dengan cara berproduksi yang baik dan penerapan karagenan dan bakteriosin produk olahan susu tersebut.

c Melaksanakan program sanitasi secara benar dan konsisten.

2. Pelaksanaan Kegiatan dan Pendampingan

3. Penyediaan Sarana Distribusi dan Pemasaran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sertifikasi Produk dan Peningkatan Kualitas SDM melalui Pelatihan

Persiapan dari pengajuan sertifikasi produk adalah perbaikan fasilitas pabrik PT. D-Farm agriprima yang sesuai dengan aturan *Good Manufacturing Practices* (GMP). Berikut beberapa perbaikan fasilitas yang telah dilakukan di PT. D-Farm Agriprima :

Tabel 1. Perbaikan Fasilitas Sanitasi PT. D-Farm Agriprima

Bagian Perbaikan	Rincian Perbaikan
Sanitasi personel dan SOP Pembuatan Produk baik di ruang masuk, ruang proses dan ruang pengemasan dan penyimpanan	a. Tersedianya instruksi sanitasi di pintu masuk ruang proses pengolahan b. Terpasangnya tirai/curtain PVC anti serangga sebelum masuk ruang proses pengolahan c. Tersedianya lemari untuk menyimpan baju dan perlengkapan produksi d. Terdapat instruksi pembersihan peralatan e. Terpasangnya tirai/curtain PVC anti serangga antara ruang proses pengolahan (area bersih) dan ruang pencucian peralatan (area kotor) f. Tersedianya *hand washer* dan *hand dryer* di ruang proses. g. Terdapat instruksi untuk selalu menjaga kebersihan pabrik h. Bahan baku dan bahan pengemas disimpan diatas pallet plastik sehingga tidak langsung menyentuh lantai i. Terdapatnya instruksi untuk selalu mencuci tangan sebelum masuk ke ruang uji kualitas j. Tempat tempat sampah tertutup di ruang pengolahan selalu dalam kondisi tertutup.
Tersedianya peralatan untuk mengusir hama atau hewan penganggu	a Terpasangnya *insect killer* sebelum memasuki ruang proses pengolahan. b Terpasangnya trap untuk tikus diruang proses pengolahan dan ruang penyimpanan produk.

Tabel 1. Perbaikan Fasilitas Sanitasi PT. D-Farm Agriprima *(lanjutan)*

Bagian Perbaikan	Rincian Perbaikan
Konstruksi Bangunan yang sesuai dengan aturan GMP	a. Lampu di ruang pengolahan yang berpenutup b. Tersedianya AC di ruang pengemasan c. Tersedianya *exhaust fan* di ruang pengolahan d. Dinding di ruang pengolahan berkeramik sampai dengan ketinggian 2 meter
Toilet dan sarana sanitasi Personel Karyawan	a Terdapat tempat sampah tertutup di kamar mandi b Terdapat tempat cuci tangan di luar kamar mandi

Sumber acuan : Badan Pengawasan Obat dan Makanan (2003), Badan Standardisasi Nasional (1998), Badan Standardisasi Nasional (2002), Departemen Kesehatan Republik Indonesia. (1998), Menteri Kesehatan Republik Indonesia (2002).

Tahapan kedua sebelum pelaksanaan sertifikasi produk adalah penyusunan dan pelatihan *Good Handling Practices* (GHP), *Good Manufacturing Practices* (GMP), *Good Distribution* dan *Good Retailing Practices* (GDP dan GRP), *standard sanitation operating procedure* (SSOP) dan HACCP untuk pelaksanaan proses produksi. GHP, GDP, GRP, GMP, SSOP dan HACCP Plan disusun untuk setiap produk sehingga memudahkan implementasinya di lapangan. Selain itu akan disusun juga berbagai instruksi kerja untuk menjelaskan teknis pelaksanaannya. Upaya ini diharapkan dapat menjadi dasar penerapan manajemen mutu dan keamanan pangan yang baik. Dokumen GHP, GDP, GRP, GMP dirangkum dalam bentuk dokumen instruksi-instruksi kerja pada masing-masing alur proses.

Tahapan selanjutnya adalah pendaftaran izin edar susu pasteurisasi dan yogurt ke BPOM RI**.** Saat ini telah di daftarkan 10 jenis produk ke BPOM RI, yaitu terdiri dari 5 jenis susu pasteurisasi dan 5 jenis yogurt. Kegiatan pendaftaran produk tersebut dikolaborasikan dengan kegiatan Iptekda LIPI. Kegiatan IbM hanya mencakup kegiatan-kegiatan yang tidak dilakukan di

kegiatan Iptekda LIPI. Kegiatan Iptekda LIPI berupa inisiasi pendaftaran MD ke BPOM RI, sedangkan kegiatan IbM adalah proses pendaftaran MD ke BPOM RI dan kegiatan pasca pendaftaran MD. Kegiatan IbM tersebut antara lain analisa-analisa produk-produk yang didaftarkan ke laboratorium yang telah terakreditasi, analisa produk harian untuk menjamin kualitas bahan baku dan produk akhir yang diproduksi.

Sampai saat ini telah diperoleh persetujuan pendaftaran produk pangan dari BPOM RI untuk 5 jenis produk susu pasteurisasi tanggal 29 Juni 2010. Jenis-jenis produk yang telah diterima yaitu 1) Susu pasteurisasi rasa coklat (BPOM MD 205128001212); 2) Susu pasteurisasi rasa vanila (BPOM MD 205128002212); 3) Susu pasteurisasi plain (BPOM MD 205128003212); 4) Susu pasteurisasi rasa coklat (BPOM MD 205128004212) dan 5) Susu pasteurisasi rasa kopi moka (BPOM MD 205128002212). Serta diperoleh persetujuan pendaftaran produk pangan dari BPOM RI untuk 5 jenis produk yogurt tanggal 5 Agustus 2010 yaitu 1) Minuman yogurt berperisa stroberi (BPOM RI MD 205228006212) 2) Minuman yogurt berperisa mangga (BPOM RI MD 205228007212), 3) Minuman yogurt berperisa sirsak (BPOM RI MD 205228008212), 4) Minuman yogurt berperisa leci (BPOM RI MD 205228009212) dan 5) Minuman yogurt berperisa jambu (BPOM RI MD 205228010212).

Pelaksanaan Kegiatan Pendampingan

Kegiatan pendampingan bertujuan mengarahkan mitra secara teknis dalam penerapan manajemen mutu di PT D-Farm Agriprima. Kegiatan pendampingan ditekankan kepada kepatuhan karyawan melaksanakan SOP/instruksi-instruksi kerja yang telah ditetapkan oleh PT D-Farm Agriprima. Secara umum SDM PT D-Farm agriprima telah memahami pentingnya pelaksanaan proses pengolahan yang saniter dan hygiene. Kepatuhan karyawan terhadap SOP/instruksi kerja harus selalu dievaluasi mengingat produk-produk dihasilkan oleh PT D-Farm Agriprima telah tersertifikasi oleh BPOM. Audit terhadap kebersihan pabrik dan lingkungan serta proses produksi yang saniter dan hygiene akan selalu dilakukan oleh BPOM pada periode waktu tertentu.

Pendampingan juga dilakukan terhadap manajemen administrasi proses pengolahan, penyimpanan dan distribusi produk. Perubahan kapasitas produksi secara signifikan mulai terlihat setelah produk mendapatkan sertifikat dari BPOM. Perubahan kapasitas produksi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perkembangan Produksi PT D-Farm Agriprima

Bulan	Kapasitas Produksi rata-rata/hari (liter)
Maret-April 2010	40 liter/hari
Mei-Juli 2010	60 liter/hari
Agustus-November 2010	120 liter/hari

Penyediaan Sarana Distribusi dan Pemasaran

Sarana distribusi dan pemasaran untuk produk susu pasteurisasi dan yogurt merupakan hal yang penting untuk mencegah terjadinya kerusakan produk. Sarana distribusi dan pemasaran yang ditambahkan pada kegiatan ini adalah : tiga *show case refrigerator* dan *cool box*. Penyediaan sarana tersebut juga diikuti dengan edukasi terhadap retailer tentang tata cara penanganan produk pada suhu penyimpanan refrigerator. Retailer selalu diingatkan dengan masa simpan produk dan prosedur pengembalian produk yang telah melewati masa kadaluarsa.

KESIMPULAN

Registrasi MD dari BPOM RI sangat diperlukan untuk menjangkau pasar yang lebih luas. Pasar yang lebih luas akan menjamin terserapnya produk yang diproduksi setelah dilakukan *scale up* usaha. *Scale up* usaha akan berimbas kepada kesejahteraan karyawan dan penambahan tenaga kerja baru. Tersedianya sistem produksi dan sistem pemasaran yang mudah diaplikasikan di tingkat UMKM akan sangat membantu UMKM dalam memproduksi produk olahan susu yang aman, sehat, utuh dan halal, sehingga meningkatkan kepercayaan konsumen dalam mengkonsumsi produk yang diproduksi. Produk susu berkualitas tidak harus diproduksi oleh industri besar, tetapi juga dapat diproduksi di skala UMKM

(koperasi, peternak, pengusaha kecil). Hal ini juga akan mengurangi ketergantungan peternak atau koperasi dalam menjual susu segar kepada industri pengolahan susu. Teknologi yang diintroduksikan di unit pengolahan susu D-Farm (PT D-Farm Agriprima) diharapkan dapat direplikasikan pada UMKM lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pengawasan Obat dan Makanan. 2003. SK Menkes Nomor 23/Menkes/SK/I/1978 tentang Pedoman Cara Produksi yang Baik untuk Makanan. BPOM, Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. 1998. SNI 01-4852-1998. Sistem Analisis Bahaya dan Pengendalian Titik Kritis (*Hazard Analysis Critical Control Point-HACCP*) serta Pedoman Penerapannya. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. 2002. Pedoman 1004-2002 Panduan Penyusunan Rencana Sistem Analisa Bahaya dan Pengendalian Titik Kritis (HACCP), Badan Satandardisasi Nasional, Jakarta.

Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 1998. Higiene dan Sanitasi Sarana Pengolahan Pangan. Direktorat Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan, Jakarta.

Dewan Standardisasi Nasional. 1992. SNI 01-2981-1992. Cara uji makanan dan minuman. Standar Nasional Indonesia, Jakarta

Dewan Standardisasi Nasional. 1992. SNI 01-3141-1992. Susu Segar. Dewan Standardisasi Nasional, Jakarta.

FDA. 1995. Sanitation, Sanitary Regulation and Voluntary Programs. *In*: G Mariot, Norman (Editors). Principles of Food Sanitation, Hal 7. 3rd Edition. Chapman and Hall, New York.

Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 1990. Persyaratan Kualitas Air Minum No.416/MENKES/Per/IX/1990, Jakarta.

Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2002. Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri No.1405/MENKES/SK/XI/2002, Jakarta.

Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2003. Persyaratan Hygiene Sanitasi Jasaboga No.715/MENKES/SK/V/2003, Jakarta.

Menteri Negara Sekretaris Negara. 1996. Undang-Undang Republik Indonesia No. 7. 1996 tentang Pangan, Jakarta.

Menteri Negara Sekretaris Negara. 1999. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 69 tahun 1999 tentang Label dan Iklan Pangan, Jakarta.

KARAKTERISTIK BAKTERI ASAM LAKTAT INDIGENUS DADIAH SUSU KERBAU SEBAGAI KANDIDAT PROBIOTIK PADA KONDISI SALURAN PENCERNAAN SECARA *IN VITRO*

(Characteristic of Lactic Acid Bacteria Indigenous Dadiah as The Candidate for Probiotics in Gastrointestinal Condition)

Rarah R. A. Maheswari
Dept. Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan, IPB

ABSTRAK

Dadiah merupakan makanan tradisional khas Sumatra Barat yang dihasilkan dari proses fermentasi secara alami terhadap susu kerbau dalam tabung bambu. Produk ini memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai pangan fungsional, bila proses fermentasi dilakukan secara terkontrol dengan melibatkan kultur starter berupa bakteri probiotik.
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari potensi *Lactobacillus plantarum-D01, Lactococcus lactis-D01, Lactobacillus acidophilus-Y01* dan *Bifidobacterium longum-Y01*sebagai kandidat bakteri probiotik meliputi kemampuannya untuk tumbuh pada : a) kondisi keasaman lambung yang berbeda (pH 2; 2,5; 3,2 dan 7,2) dan b) keberadaan garam empedu di usus halus, c) keberadaan antibiotik, d) mempunyai sifat antagonistik terhadap bakteri patogen (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 dan *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028), dan e) menunjukkan kemampuan penempelan pada saluran pencernaan tikus secara *in vitro*.
Hasil penelitian menunjukkan bahwa keempat Bakteri Asam Laktat (BAL) yang diuji *Lactobacillus plantarum-D01, Lactococcus lactis-D01, Lactobacillus acidophilus-Y01* dan *Bifidobacterium longum-Y01*memiliki ketahanan yang baik dan dapat bertahan hidup pada kondisi keasaman lambung yang berbeda, adanya garam empedu dan antibiotik. *Lactobacillus acidophilus-Y01* dan *Bifidobacterium longum-Y01*memiliki ketahanan yang lebih baik yaitu mampu mempertahankan jumlah populasinya pada kondisi keasaman lambung yang berbeda, adanya garam empedu dan antibiotik. *Lactobacillus plantarum-D01,Lactococcus lactis-D01*, mengalami penurunan jumlah populasi sebesar 1-2 log pada kondisi keasaman lambung berbeda (pH 2; 2,5 dan 3,2), adanya garam empedu serta antibiotik amoksisilin. Keempat BAL yang diujikan lebih tahan terhadap antibiotik kloramfenikol daripada antibiotik amoksisilin, serta menunjukkan aktivitas antagonistik terhadap bakteri patogen indikator yang diujikan yaitu *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 dan *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028. Keempat BAL yang diuji *Lactobacillus plantarum-D01, Lactococcus lactis-D01, Lactobacillus acidophilus-Y01* dan *Bifidobacterium longum-Y01* memenuhi kriteria sebagai syarat probiotik yaitu dapat bertahan pada kondisi asam lambung, adanya garam empedu dan menghasilkan aktivitas antagonistik terhadap bakteri patogen, sehingga akan mendatangkan manfaat kesehatan pada saluran pencernaan.

Kata kunci : Dadiah, *Lactobacillus plantarum, Lactococcus lactis*, probiotik.

ABSTRACT

Probiotic bacteria defined as living microorganisms which will confer health benefit to the host when administered in adequate amounts. The aims of this research were to study the potential of *Bifidobacterium longum Y-01, Lactobacillus acidophilius Y-01, Lactobacillus plantarum D-01*-01, and *Lactococcus lactis D-01*-01 as probiotic bacteria through its ability to grow in gastrointestinal conditions (acid conditions of stomach and the presence of bile salts in the small intestine); its resistance to antibiotics; and its

antimicrobial properties against pathogen bacterias. This study initiated with assays of four tested Lactic Acid Bacterias (LAB) for its ability to grow and survive in acid conditions, bile salts, and antibiotics, also its antagonistic activities against indicator strains of pathogen bacteria (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028, and *Escherichia coli* ATCC 25922). Result obtained from assay of ability to grow in acid conditions, presence of bile salts, and antibiotics showed that *B. longum Y-01* and *L. acidophilus Y-01* that isolated from cow milk product had better resistance than *L. plantarum D-01*-01 and *L. lactis D-01*-01 (t-test), LAB indigenous dadiah. Result showed that difference tested LABs influenced diameter of the inhibition zone toward indicator pathogene bacterias ($P<0.01$), which was *L. acidophilus* had the largest inhibition zone against *S. aureus* ATCC 25923 and *Escherichia coli* ATCC 25922, while *B. longum* was able to produce the largest inhibition zone against *S. thypimurium* ATCC 14028. Therefore the four tested LABs can be identified as probiotic bacteria.

Keywords : Dadiah, *Lactobacillus plantarum, Lactococcus lactis*, probiotic.

PENDAHULUAN

Kesadaran masyarakat akan pentingnya kesehatan saat ini semakin meningkat, sehingga menimbulkan implikasi yang luas dalam memilih bahan makanan untuk kelangsungan hidupnya. Hal tersebut mendorong berkembangnya riset-riset mengenai makanan dan minuman yang mempunyai efek menyehatkan, atau dikelompokkan sebagai pangan fungsional.

Dadiah merupakan makanan tradisional khas Sumatra Barat yang dihasilkan dari proses fermentasi secara alami terhadap susu kerbau dalam tabung bambu. Produk ini memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai pangan fungsional, bila proses fermentasi dilakukan secara terkontrol dengan kultur starter berupa bakteri probiotik. Bakteri probiotik harus memiliki sifat non patogen, menghasilkan asam dengan cepat, tahan terhadap garam empedu, tahan terhadap antibiotik, mampu menempel pada epitel dinding saluran pencernaan, serta mampu memproduksi substansi antimikroba termasuk asam organik, hidrogen peroksida dan bakteriosin.

Bakteri Asam Laktat (BAL) termasuk salah satu mikroorganisme yang memiliki peranan untuk menjaga kesehatan saluran pencernaan baik pada manusia ataupun hewan. Kelompok bakteri yang baik dalam mikroflora usus atau disebut probiotik merupakan bagian yang terpenting bagi manusia untuk mengoptimalkan kesehatan. Karakteristik yang dipertimbangkan untuk menentukan syarat utama isolat BAL sebagai bakteri probiotik yakni bersifat nonpatogenik, harus mampu

bertahan hidup, bersaing dan tumbuh dalam saluran pencernaanan. Bakteri tersebut harus mampu melewati beberapa rintangan seperti keasaman lambung yang tinggi, adanya sekresi garam empedu ataupun antibiotik dalam usus halus, mampu menghasilkan senyawa antimikroba untuk menekan pertumbuhan bakteri patogen, serta mampu melakukan penempelan pada usus halus, untuk dapat berperan dalam mendukung kesehatan inangnya. Isolasi dan identifikasi terhadap kultur starter indigenus dadiah mendapatkan dominasi BAL *Lactobacillus plantarum-D01* dan *Lactococcus lactis-D01*, sedangkan dari olahan bioproduk susu sapi mendapatkan *Lactobacillus acidophilus-Y01* dan *Bifidobacterium longum-Y01*(Maheswari, 2008), sehingga sangat menarik untuk mempelajari lebih lanjut potensi isolat asal dadiah dan produk olahan susu sapi sebagai kandidat bakteri probiotik untuk menghasilkan dadih probiotik sebagai pangan fungsional.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Karakterisasi BAL dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Hasil Ternak serta Laboratorium Terpadu, Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan. Pengujian kemampuan penempelan BAL dilakukan di Laboratorium Histologi, Departemen Anatomi Fisiologi dan Farmakologi, Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor. Penelitian ini berlangsung dari bulan Maret sampai Agustus 2010.

Kultur Bakteri

Kultur BAL yang digunakan adalah *L. plantarum D-01*, *L. lactis D*-01, *B. longum Y-01*, *L. acidophilus Y-01*, sedangkan bakteri uji indikator adalah *E. coli* ATCC 25922, *S. aureus* ATCC 25923, dan *S.* Typhimurium ATCC 14028. Semua kultur bakteri tersebut merupakan koleksi dari Laboratorium Mikrobiologi Bagian Teknologi Hasil Ternak, Dept. IPTP-Fakultas Peternakan IPB. Media dan bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya adalah *de-Man's Rogosa Sharpe Broth* (MRSB), *Buffer Pepton Water* (BPW), *de-Man's Rogosa Sharpe Agar* (MRSA), *Phosphate Buffered Saline* (PBS), *bile salt*, *Eosin Methilen Blue Agar* (EMBA), *Salmonella Shigella Agar* (SSA), *Nutrient Agar* (NA),

Mueller Hinton Agar (MHA), HCl, NaOH, NaCl fisiologis, metanol p.a, antibiotik amoksisilin dan kloramphenikol, larutan buffer pH 4 dan 7, serta *mounting media* dan Hematoxylin-Eosin. Media untuk pengujian penempelan pada permukaan padat yaitu larutan detergen, aquades dan larutan *acridin orange* 0,026%.

Karakteristik Ketahanan Kultur Starter BAL terhadap Kondisi Keasaman Lambung yang Berbeda (Chou dan Weimer, 1999)

Kultur starter BAL disegarkan ke dalam MRSB dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37 ^{o}C. Sel-sel bakteri dipanen melalui sentrifugasi (5000 rpm selama 10 menit pada 4 ^{o}C), lalu dipisahkan dari supernatannya. Sel-sel kultur starter bakteri distandardisasi untuk mendapatkan populasi awal 10^7 cfu/ml, lalu diinokulasikan ke dalam larutan PBS (*Phosphate Buffer Saline*) yang telah dikondisikan pada pH 2; 2,5; 3,2; dan 7,2, selanjutnya diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 180 menit. Ketahanan BAL terhadap kondisi keasaman lambung yang berbeda ditentukan dari jumlah populasi bakteri yang tetap bertahan hidup sebelum diinkubasi (t_0) dan sesudah diinkubasi selama 180 menit (t_{180}).

Karakteristik Ketahanan Kultur Starter BAL terhadap Garam Empedu (Lin *et al*., 2006)

Pengujian lanjut ketahanan BAL terhadap garam empedu hanya dilakukan terhadap isolat bakteri yang dapat tumbuh pada pH 2,0. Pengujian disesuaikan dengan kadar garam empedu pada saluran pencernaan yaitu menggunakan *bile salt* (garam empedu) sebanyak 0,3% *oxgall* b/v dalam media PBS basal pada pH 7,2, kemudian disterilisasi pada suhu 121 ^{o}C selama 15 menit. Kultur starter BAL dengan populasi awal $\pm 10^7$ cfu/ml diinokulasikan pada media PBS dengan garam empedu 0,3% steril, lalu diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam. Ketahanan BAL terhadap garam empedu ditentukan dari jumlah populasi bakteri yang tetap bertahan hidup sebelum diinkubasi (t_0) dan sesudah diinkubasi selama 24 jam (t_{24}).

Karakteristik Ketahanan Kultur Starter BAL Dadiah terhadap Antibiotik Berbeda (Liasi *et al*., 2009)

Karakterisasi BAL terhadap ketahanannya pada antibiotik dilakukan terhadap isolat bakteri yang dapat tumbuh pada pH 2,0 dan dalam media PBS yang mengandung garam empedu 0,3%. Karakterisasi BAL berdasarkan pada sensitivitasnya terhadap antibiotik amoksisilin dan kloramfenikol. Kultur starter BAL dengan populasi awal $\pm 10^7$ cfu/ml ditumbuhkan ke dalam media MRSB

yang telah ditambahkan antibiotik sebanyak 30 μg/ml, lalu diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam. Ketahanan BAL terhadap kondisi keberadaan antibiotik yang berbeda ditentukan dari jumlah populasi bakteri yang tetap bertahan hidup sebelum diinkubasi (t_0) dan sesudah diinkubasi selama 24 jam (t_{24}).

Karakteristik Aktivitas Antagonistik BAL Dadiah terhadap Bakteri Patogen (Modifikasi Wiryawan *et al*., 2009)

Persiapan Filtrat Bebas Sel (FBS) dan FBS Terkonsentrasi. Kultur starter BAL yang sudah disegarkan distandarisasi dengan populasi awal ±10^7 cfu/ml, lalu diinokulasikan dalam MRSB dan diinkubasi pada 37 ^{o}C selama 24 jam. Filtrat bebas sel (FBS) diperoleh melalui penyaringan steril dengan filter 0,22 μm (Millipore). FBS dikonsentrasikan dengan cara menambahkan metanol (MeOH) dengan rasio 1:1, kemudian dievaporasi dalam *rotary evaporator* pada suhu 40-45 ^{o}C selama 60 menit atau hingga mencapai 1/5 volume awal, dengan tujuan untuk meningkatkan aktivitas antimikroba dari BAL. FBS terkonsentrasi segera disimpan dalam refrigerator (4 ^{o}C) sebelum digunakan.

Persiapan Bakteri Indikator. Bakteri patogen indikator disegarkan untuk memperoleh kultur bakteri yang berumur 24 jam. Bakteri patogen distandardisasi dengan populasi awal minimal 10^8 cfu/ml (standar Mc Farland no.2) dalam media NB, lalu terlebih dahulu diencerkan dalam NaCl fisiologis hingga populasi mencapai 10^5 cfu/ml sebelum digunakan dalam uji konfrontasi.

Konfrontasi Filtrat Bebas Sel dengan Bakteri Indikator. Pengujian aktivitas antimikroba kultur starter *L. plantarum D-01, L. lactis D-01 B. longum Y-01* dan *L. acidophilus Y-01*terhadap bakteri patogen dilakukan dengan metode difusi agar sumur. Sebanyak masing-masing 1 ml kultur bakteri patogen yang telah diencerkan dengan populasi 10^5 cfu/ml dipipet ke dalam cawan Petri, lalu ditambahkan media *Mueller Hinton Agar* dengan suhu 50^{o}C sebanyak 20 ml/cawan, lalu dihomogenkan dengan cara digerakkan membentuk angka delapan. Media MHA berisi bakteri indikator dibiarkan memadat, kemudian dibuat sumur difusi berdiameter 7 mm dengan *cork borer* (alat pelubang). Sebanyak 50 μl FBS terkonsentrasi dipipet ke dalam sumur, lalu cawan beserta isi diletakkan dalam refrigerator untuk memberi kesempatan FBS berdifusi ke dalam agar selama ±30 menit. Cawan selanjutnya diinkubasi pada 37 ^{o}C selama 24 jam. Diameter

penghambatan berupa zona bening di sekeliling sumur diukur dengan jangka sorong pada empat tempat yang berbeda, lalu hasil pengukuran dirata-ratakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketahanan Kultur Starter BAL Dadiah terhadap Kondisi Keasaman Lambung yang Berbeda

Tekanan pertama yang terjadi pada sel Bakteri Asam Laktat (BAL) pada saat memasuki saluran pencernaan adalah terpapar pada asam lambung. Pada kondisi pH rendah, BAL tidak hanya tumbuh lambat tetapi mungkin juga mengalami kerusakan asam dan menurun viabilitasnya. Nilai pH lambung dalam keadaan istirahat atau kosong sangatlah rendah yaitu sekitar 2,0, berubah menjadi 2,5 ketika enzim pepsin menghidrolisis protein (Surono, 2004), meningkat menjadi 3,2 ketika asam lambung disekresikan dan berada sekitar 7,2 ketika mulai memasuki usus (Mitsuoka, 1990) dengan lama waktu yang diperlukan mulai saat bakteri masuk sampai keluar lambung adalah sekitar 90 menit (Berrada *et al.*, 1991). Kemampuan BAL asal dadiah *L. plantarum D-01* dan *L. lactis D-01*, serta asal olahan susu *B. longum Y-01*, *L. acidophilus Y-01*, tumbuh atau bertahan pada keasaman lambung yang berbeda selama 180 menit dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Populasi BAL Dadiah pada Kondisi Keasaman Lambung yang Berbeda

No.	Lama inkubasi	Populasi BAL (log cfu/ml)			
		L. plantarum D-01	*L. lactis D-01*	*B. longum Y-01*	*L. acidophilus Y-01*
1.		---------- pH 2,0 ----------			
	$P_{0\ menit}$	7,98 ± 0,13^{a}	7,72 ± 0,24^{A}	7,15 ± 0,29	7,06 ± 0,12
	$P_{180\ menit}$	6,47 ± 0,09^{b}	6,45 ± 0,20^{B}	7,31 ± 0,33	7,15 ± 0,13
	$\Delta(P_{180} - P_0)^{*}$	-1,51 ±1,07	-1,27 ± 0,90	0,16 ± 0,11	0,09 ± 0,06
2.		---------- pH 2,5 ----------			
	$P_{0\ menit}$	7,52 ± 0,12^{a}	7,24 ± 0,45	7,36 ± 0,09^{a}	7,25 ± 0,02
	$P_{180\ menit}$	6,01 ± 0,31^{b}	6,49 ± 0,30	7,62 ± 0,06^{b}	7,54 ± 0,12
	$\Delta(P_{180} - P_0)^{*}$	-1,51 ± 1,07	-0,75 ± 0,53	0,26 ± 0,18	0,29 ± 0,21
3.		---------- pH 3,2 ----------			
	$P_{0\ menit}$	7,81 ± 0,28^{A}	7,04 ± 0,12	7,50 ± 0,33	7,12 ± 0,03^{a}
	$P_{180\ menit}$	6,37 ± 0,23^{B}	6,89 ± 0,34	7,92 ± 0,29	7,43 ± 0,08^{b}
	$\Delta(P_{180} - P_0)^{*}$	-1,44 ± 1,02	-0,15 ± 0,11	0,42 ± 0,30	0,31 ± 0,22
4.		---------- pH 7,2 ----------			
	$P_{0\ menit}$	7,93 ± 0,29	7,43 ± 0,08	7,01 ± 0,17^{a}	7,45 ± 0,08^{a}
	$P_{180\ menit}$	8,48 ± 0,13	7,86 ± 0,17	7,45 ± 0,15^{b}	7,81 ± 0,14^{b}
	$\Delta(P_{180} - P_0)^{*}$	0,55 ± 0,39	0,43 ± 0,30	0,44 ± 0,31	0,36 ± 0,25

Keterangan : *apabila hasilnya (-) menunjukkan adanya kematian
(A,B) pada kolom dan kondisi pH yang sama menunjukan perbedaan yang sangat nyata (P<0,01)
(a,b) pada kolom dan kondisi pH yang sama menunjukan perbedaan yang nyata (P<0,05)
Uji t dilakukan dengan membandingkan populasi pada lama inkubasi ke-0 dan ke-180 menit.

Pertumbuhan BAL asal dadiah *L. plantarum D-01* nyata menurun (P<0,05) sebesar ± 1,5 log pada kondisi lambung dengan pH 2,0; 2,5 maupun 3,2, namun mampu tumbuh pada kondisi usus halus dengan pH 7,2. BAL asal dadiah *L. lactis D-01* lebih mampu beradaptasi pada kondisi tersebut dan hanya mengalami penurunan populasi (P<0,01) sebesar ± 1,3 log pada saat lambung kosong atau mempunyai pH 2,0. BAL asal olahan susu mampu bertahan dan tumbuh pada berbagai kondisi pH yang diujikan, ditunjukkan peningkatan populasi *B. longum Y-01* pada pH 2,5 (P< 0,05) dan *L. acidophilus Y-01* pada pH 3,2 (P< 0,05).

BAL asal dadiah, walaupun mengalami penurunan, namun masih mampu mempertahankan populasinya hingga 80% dari populasi awal selama 180 menit terpapar dengan kondisi asam, sehingga dapat dinyatakan bahwa kedua bakteri tersebut memiliki ketahanan atau resistensi yang baik (Jacobsen *et al.*, 1999). BAL indigenus dadiah yaitu *L. plantarum D-01* dan *L. lactis D-01* maupun olahan susu sapi *B. longum Y-01*, *L. acidophilus Y-01*, memiliki ketahanan yang baik terhadap kondisi keasaman lambung yang berbeda (pH 2; 2,5; 3,2 dan 7,2). Bakteri *B. longum Y-01* dan *L. acidophilus Y-01* memiliki ketahanan yang lebih baik pada pH rendah dibandingkan bakteri *L. plantarum D-01* dan *L. lactis D-01* sesuai dengan pernyataan Nakazawa dan Hosono (1992) yaitu *Bifidobacteria* dan *L. acidophilus* adalah mikroba yang berkarakteristik mampu mencapai dan hidup dalam keadaan utuh di dalam usus dengan jumlah yang cukup tinggi. Susanti *et al*. (2007) menjelaskan bahwa kondisi yang sangat asam dapat mengakibatkan kerusakan membran dan lepasnya komponen intraseluler yang dapat menyebabkan kematian. Bakteri yang tahan asam memiliki ketahanan yang lebih besar terhadap kerusakan membran akibat penurunan pH ekstraseluler dibandingkan dengan bakteri yang tidak tahan terhadap asam. Toleransi BAL yang cukup tinggi terhadap asam biasanya juga disebabkan bakteri tersebut mampu mempertahankan pH sitoplasma yang lebih basa daripada pH ekstraseluler, hal ini dapat dicapai bila sel memiliki membran yang merupakan barier yang membatasi pergerakan senyawa/proton. Komposisi asam lemak dan protein penyusun membran yang beragam di antara spesies bakteri juga diduga mempengaruhi keragaman ketahanan bakteri terhadap pH rendah. Nannen dan

Hutkins (1991) menambahkan, bahwa untuk bertahan di lingkungan asam, suatu BAL harus mampu mempertahankan pH intraseluler yang lebih tinggi dibandingkan pH ekstraseluler. Bakteri yang tidak tahan terhadap asam akan menjaga pH intraseluler mendekati netral, sedangkan BAL yang lebih tahan terhadap asam secara dinamis akan mengubah pH intraseluler seiring dengan penurunan pH ekstraseluler, sehingga tidak terjadi gradien proton yang besar. BAL dengan gradien proton yang besar tidak menguntungkan dikarenakan translokasi proton menggunakan banyak energi. Selain itu gradien proton yang besar mengakibatkan akumulasi anion, asam organik dalam sitosol yang bersifat toksik bagi sel tersebut.

Ketahanan Kultur Starter BAL Asal Dadiah Terhadap Garam Empedu

Asam empedu mengandung padatan seperti garam empedu dengan komposisi terbanyak adalah garam Na dan segmen empedu seperti bilirubin glukuronida, sulfat steroid dan senyawa racun lainnya serta mengandung sejumlah lipid seperti fosfolipid dan kolesterol. Asam empedu akan diserap kembali dari ileum bagian bawah dan kembali ke hati untuk disekresikan kembali ke empedu. Asam empedu yang tidak diserap kembali dan lolos ke usus besar didekonjugasi oleh bakteri usus menjadi asam empedu sekunder. Pada penelitian ini konsentrasi *bile salt* yang digunakan sebanyak 0,3% dikarenakan menurut Zavaglia *et al*. (1998) semua mikroba yang berhasil hidup setelah ditumbuhkan dalam MRSA yang ditambah 0,3% *ox gall*, dinyatakan bersifat tahan terhadap garam empedu. Konsentrasi garam empedu sebesar 0,3% merupakan konsentrasi yang kritikal, nilai yang cukup tinggi untuk melakukan seleksi terhadap isolat yang resisten terhadap garam empedu. Kemampuan *L. plantarum D-01, L. lactis D-01,B. longum Y-01* dan *L. acidophilus Y-01* bertahan atau tumbuh dalam media yang mengandung garam empedu selama 24 jam dapat dilihat Tabel 2.

Tabel 2. Ketahanan Populasi BAL Dadiah terhadap Garam Empedu

No.	Lama inkubasi	Populasi BAL (log cfu/ml)			
		L. plantarum D-01	*L. lactis D-01*	*B. longum Y-01*	*L. acidophilus Y-01*
1.		Kontrol tanpa Garam Empedu			
	$P_{0\ menit}$	7,31 ± 0,11	7,34 ± 0,05^{A}	7,37 ± 0,10	7,92 ± 0,13
	$P_{180\ menit}$	7,43 ± 0,11	7,98 ± 0,06^{B}	7,62 ± 0,15	8,18 ± 0,06

Tabel 2. Ketahanan Populasi BAL Dadiah terhadap Garam Empedu *(lanjutan)*

No.	Lama inkubasi	Populasi BAL (log cfu/ml)			
		L. plantarum D-01	*L. lactis D-01*	*B. longum Y-01*	*L. acidophilus Y-01*
	$\Delta(P_{180} - P_0)^*$	0,12 ± 0,09	0,64 ± 0,45	0,25 ± 0,18	0,26 ± 0,18
2.		Perlakuan dengan Garam Empedu			
	$P_{0\ menit}$	7,85 ± 0,83	7,99 ± 0,07^{A}	8,41 ± 0,03^{a}	7,54 ± 0,10^{a}
	$P_{180\ menit}$	6,37 ± 0,63	6,05 ± 0,12^{B}	8,51 ± 0,01^{b}	7,78 ± 0,07^{b}
	$\Delta(P_{180} - P_0)^*$	-1,48 ± 1,05	-1,94 ± 1,37	0,10 ± 0,07	0,24 ± 0,17

Keterangan : *apabila hasilnya (-) menunjukan adanya kematian
(A,B) pada kolom dan perlakuan yang sama menunjukan perbedaan yang sangat nyata (P<0,01)
(a,b) pada kolom dan perlakuan yang sama menunjukan perbedaan yang nyata (P<0,05)
Uji t dilakukan dengan membandingkan jam ke-0 dan ke-24 jam

BAL asal dadiah mengalami penurunan populasi sebesar 1,5 log untuk *L. plantarum D-01*dan 2,0 log untuk *L. lactis D-01* (P<0,01) pada kondisi lingkungan saluran pencernaan dengan garam empedu, sebaliknya BAL asal olahan susu sapi *B. longum Y-01* dan *L. acidophilus Y-01* dapat bertahan dan meningkat populasinya (P<0,05). Bila dibandingkan pertumbuhannya dalam lingkungan saluran pencernaan dengan pH 2,0 tanpa garam empedu, keempat kultur BAL mampu tumbuh dan bermultiplikasi walaupun dengan peningkatan populasi yang rendah, yang menunjukkan sekali lagi resistensinya pada kondisi pH 2,0 tersebut. Walaupun adanya penambahan garam empedu 0,3% *oxgall* pada media dengan pH 2,0 menekan pertumbuhan kedua isolat BAL asal dadiah, namun *L. plantarum D-01*dan *L. lactis D-01* mampu mempertahankan populasinya masing-masing sebesar sekitar 80% dan 75%. Salminen *et al.* (2004) menjelaskan bahwa suatu BAL dapat dikatakan bakteri probiotik apabila mampu bertahan dan tumbuh pada saluran pencernaan terutama ketika memasuki bagian atas saluran usus, dimana empedu disekresikan di dalam usus. Surono (2004) mengatakan bahwa lamanya bakteri hidup di dalam usus sekitar 4-6 jam, namun bakteri yang telah melewati garam empedu harus mampu mengkolonisasi pada saluran usus bagian bawah agar dapat dikatakan bakteri probiotik, untuk maksud tersebut maka waktu pengamatan dalam penelitian dilakukan selama 24 jam. Kemampuan BAL asal dadiah tetap mempertahankan populasinya menunjukkan karakteristik resistensinya pada gram empedu, seperti yang dinyatakan Jacobsen *et al.* (1999) bahwa semua bakteri yang berhasil bertahan pada kondisi yang diberi garam empedu dinyatakan bersifat tahan atau resisten terhadap garam empedu. Susanti

et al. (2007) menjelaskan bahwa garam empedu berpengaruh terhadap permeabilitas sel bakteri. Pada BAL yang tahan terhadap garam empedu apabila diinkubasi pada larutan penyangga yang mengandung garam empedu masih dapat tumbuh dan tidak akan mengalami lisis, namun BAL tersebut tetap mengalami kebocoran materi intraseluler. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan sifat permeabilitas sel pada membran sel bakteri. Pada bakteri yang tidak tahan terhadap garam empedu, perubahan permeabilitas sel dan kebocoran materi intraseluler lebih besar, sehingga sel bakteri akan mati karena lisis. Perubahan struktur membran sel dan sifat permeabilitas sel dapat terjadi akibat enzim lipolitik yang disekresikan pankreas bereaksi dengan asam lemak pada membran sitoplasma bakteri. Keragaman struktur asam lemak pada membran sitoplasma bakteri menyebabkan perbedaan permeabilitas dan karakteristiknya, sehingga mungkin mempengaruhi ketahanannya terhadap garam empedu.

Ketahanan Kultur Starter BAL *Indigenous* Dadiah terhadap Antibiotik Amoksisilin dan Kloramfenikol

Antibiotik merupakan musuh paling berbahaya bagi mikroba. Antibiotik akan menyapu bersih populasi bakteri di dalam usus tanpa pandang bulu, sehingga untuk sesaat usus menjadi bersih tanpa adanya bakteri. BAL yang memiliki ketahanan terhadap antibiotik tidak akan mati ketika diberi antibiotik, sehingga di dalam usus manusia keseimbangan mikrobanya masih dapat terjaga. Pada penelitian ini ketahanan BAL asal dadiah dan olahan susu sapi diuji terhadap amoksisilin dan kloramfenikol. Kedua antibiotik ini dipilih karena mempunyai spektrum luas yang aktif terhadap banyak bakteri Gram positif dan Gram negatif, serta merupakan antibiotik yang sering dikonsumsi oleh masyarakat. Kemampuan *L. plantarum D-01*, *L. lactis D-01*, *B. longum Y-01* dan *L. acidophilus Y-01* tumbuh atau bertahan terhadap antibiotik selama 24 jam dapat dilihat Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Populasi BAL Dadiah tanpa atau dengan Antibiotik yang Berbeda

No.	Lama inkubasi	Populasi BAL (log cfu/ml)			
		L. plantarum D-01	*L. lactis D-01*	*B. longum Y-01*	*L. acidophilus Y-01*
1		Kontrol (Tanpa Antibiotik)			
	$P_{0\ menit}$	$7,89 \pm 0,03^{A}$	$7,72 \pm 0,05^{A}$	$7,79 \pm 0,04^{A}$	$7,83 \pm 0,03^{A}$
	$P_{180\ menit}$	$11,26 \pm 0,05^{B}$	$9,59 \pm 0,05^{B}$	$9,89 \pm 0,02^{B}$	$9,31 \pm 0,04^{B}$
	$\Delta(P_{180} - P_0)^{*}$	$3,37 \pm 2,38$	$1,87 \pm 1,32$	$2,10 \pm 1,48$	$1,48 \pm 1,05$

Tabel 3. Jumlah Populasi BAL Dadiah tanpa atau dengan Antibiotik yang Berbeda *(lanjutan)*

No.	Lama inkubasi	Populasi BAL (log cfu/ml)			
		L. plantarum D-01	*L. lactis D-01*	*B. longum Y-01*	*L. acidophilus Y-01*
3		Antibiotik Amoksisilin			
	$P_{0\ menit}$	7,86 ± 0,43	7,68 ± 0,22^{A}	7,65 ± 0,13	7,82 ± 0,79
	$P_{180\ menit}$	7,53 ± 0,60	6,10 ± 0,10^{B}	7,82 ± 0,10	8,20 ± 0,37
	$\Delta(P_{180} - P_0)^*$	-0,33 ± 0,23	-1,58 ± 1,12	0,17 ± 0,12	0,38 ± 0,27
		Antibiotik Kloramfenikol			
	$P_{0\ menit}$	7,89 ± 0,02^{a}	7,93 ± 0,02^{a}	7,92 ± 0,03^{A}	7,73 ± 0,05^{a}
	$P_{180\ menit}$	8,21 ± 0,06^{b}	8,20 ± 0,08^{b}	8,12 ± 0,03^{B}	8,23 ± 0,11^{b}
	$\Delta(P_{180} - P_0)^*$	0,32 ± 0,23	0,27 ± 0,19	0,20 ± 0,14	0,50 ± 0,35

Keterangan : *apabila hasilnya (-) menunjukan adanya kematian
(A,B) pada kolom dan perlakuan yang sama menunjukan perbedaan yang sangat nyata (P<0,01)
(a,b) pada kolom dan perlakuan yang sama menunjukan perbedaan yang nyata (P<0,05)
Uji t dilakukan dengan membandingkan jam ke-0 dan ke-24 jam.

BAL asal dadiah dan asal olahan susu sapi tumbuh dengan baik dan nyata meningkat populasinya (P<0,01) sebesar 1,5 – 3 log selama 24 jam inkubasi dalam media MRSB tanpa penambahan antibiotik, dengan peningkatan populasi tertinggi didapatkan pada *L. plantarum D-01*. Inkorporasi antibiotik amoksisilin 30µg/ml tidak berpengaruh bagi pertumbuhan *L. plantarum D-01*, *B. longum Y-01* dan *L. acidophilus Y-01* , namun nyata (P<0,01) menghambat pertumbuhan *L. lactis D-01* ditunjukkan oleh penurunan populasi sekitar 1,5 log. Penambahan kloramfenikol tidak mempengaruhi pertumbuhan kultur BAL yang diuji ditunjukkan oleh peningkatan secara nyata populasinya yaitu *L. plantarum D-01*, *L. lactis D-01* dan *L. acidophilus Y-01* (P <0,05), serta *B. longum Y-01* (P< 0,01).

Keempat BAL yang diuji tersebut mampu tumbuh dan berkembang biak pada media tumbuhnya yaitu MRSB karena terdapat nutrisi yang baik dan cukup untuk pertumbuhan BAL diantaranya sumber karbohidrta yaitu dextrose, tidak terdapat substrat penghambat berupa antibiotika, serta didukung oleh kondisi pH maupun suhu yang sangat mendukung. Buckle *et al.* (2007) yang mengatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba yaitu ketersediaan nutrisi, pH, suhu, ketersediaan oksigen, adanya zat penghambat dan adanya persaingan dengan mikroba lainnya. Walaupun *L. lactis D-01* menunjukkan pertumbuhan yang terhambat dengan adanya amoksisilin dalam media, namun populasi bakteri tetap mampu dipertahankan hingga sekitar 80% dari populasi

awal setelah diinkubasi selama 24 jam. Menurut Jacobsen *et al.* (1999) semua bakteri yang berhasil bertahan pada kondisi yang telah diberi antibiotik dinyatakan bersifat tahan atau resisten terhadap antibiotik meskipun jumlah populasinya mengalami penurunan. Widodo (2002) menyatakan bahwa salah satu syarat BAL yang bermanfaat sebagai probiotik adalah memiliki ketahanan terhadap antibiotik karena antibiotik merupakan musuh paling berbahaya bagi mikroba. Antibiotik akan menyapu bersih populasi bakteri di dalam usus tanpa pandang bulu, sehingga untuk sesaat usus menjadi bersih tanpa adanya bakteri. BAL yang memiliki ketahanan terhadap antibiotik tidak akan mati ketika diberi antibiotik, sehingga di dalam usus manusia keseimbangan mikrobanya masih dapat terjaga. Setiap antibiotik mempunyai efektivitas yang berbeda dalam melawan bakteri sasarannya baik Gram negatif atau Gram positif, bergantung pada lokasi infeksi dan kemampuan antibiotik mencapai lokasi tersebut (Pelczar dan Chan, 2008). Kultur starter BAL keempatnya lebih tahan terhadap antibiotik kloramfenikol daripada antibiotik amoksisilin, karena amoksisilin lebih bersifat bakterisidal sementara kloramfenikol bersifat bakteriostatis dengan cara menghambat pertumbuhan atau pembiakan bakteri, sehingga memungkinkan bakteri yang telah diberi antibiotik kloramfenikol mampu berkembang biak kembali (Volk dan Wheeler, 1993). Antibiotik amoksisilin sering digunakan untuk mengatasi infeksi yang disebabkan oleh bakteri Gram negatif seperti *H. influenza, E. coli, P. mirabilis, Salmonella* serta untuk mengatasi infeksi yang disebabkan oleh bakteri Gram positif seperti : *S. pneumoniae, enterococci, nonpenicilinase-producing staphylococci, Listeria* (Siswandono, 2000). Antibiotik kloramfenikol biasanya hanya digunakan untuk infeksi yang parah disebabkan oleh bakteri anaerob penyebab meningitis, *H. influenza* dan tifus (Volk dan Wheeler, 1993).

Aktivitas Antagonistik BAL Dadiah terhadap Bakteri Patogen

Salah satu kriteria yang diinginkan dari BAL yang digunakan sebagai kultur probiotik adalah kemampuannya untuk menghambat bakteri patogen sehingga mampu berkompetisi dengan bakteri patogen untuk mempertahankan keseimbangan mikroflora normal usus. Konfrontasi substrat aktif dari BAL dilakukan terhadap bakteri patogen indikator yaitu *E. coli* ATCC 25922, *S.*

aureus ATCC 25923 dan *S.* Typhimurium ATCC 14028 yang dipilih karena sering sebagai penanggung jawab penyebab berjangkitnya penyakit pada manusia. Aktivitas antagonistik BAL asal dadiah dan produk olahan susu terhadap *S.* Typhimurium ATCC 14028, *E. coli* ATCC 25922 dan *S. aureus* ATCC 25923 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Aktivitas Antagonistik FBS Terkonsentrasi BAL Dadiah terhadap Bakteri Patogen Indikator

No.	Kultur Bakteri	Diameter penghambatan (mm)		
		S. Typhi ATCC 25923	*E.coli* ATCC 25922	*S.aureus* ATCC 25923
1.	*L. plantarum D-01*	$11,84 \pm 0,34^{C}$	$12,64 \pm 0,28^{B}$	$11,32 \pm 1,32^{ab}$
2.	*L. lactis D-01*	$9,73 \pm 0,02^{D}$	$10,81 \pm 0,17^{C}$	$9,40 \pm 0,52^{b}$
3.	*B. longum Y-01*	$13,13 \pm 0,19^{B}$	$14,72 \pm 0,45^{A}$	$13,80 \pm 0,47^{a}$
4.	*L. acidophilus Y-01*	$15,35 \pm 0,28^{A}$	$15,16 \pm 0,32^{A}$	$12,53 \pm 0,18^{a}$

Keterangan : Superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukan perbedaan yang sangat nyata (A,B,C,D, P<0,01) atau nyata (a,b, P<0,05).

BAL asal dadiah *L. plantarum D-01*dan *L. lactis D-01* dan asal olahan susu sapi *B. longum Y-01* dan *L. acidophilus Y-01,* keempatnya menghasilkan substrat antimikroba ekstraseluler, yang disekresikan dalam media tumbuhnya dan menunjukkan aktivitas antagonistik terhadap bakteri patogen indikator *S.* Typhi ATCC 14028, *E. coli* ATCC 25922 dan *S. aureus* ATCC 25923 dibuktikan oleh zona bening penghambatan pada hasil konfrontasinya. FBS dari keempat kultur BAL mempunyai aktivitas antagonistik yang berbeda terhadap masing-masing bakteri patogen. Aktivitas tertinggi terhadap *S.* Typhi ATCC 14028 ditunjukkan oleh FBS dari *L. acidophilus Y-01* dan terendah dari *L. lactis D-01* dengan diameter zona penghambatan masing-masing adalah 15,35 mm dan 9,75 mm. Hasil ini memperkuat pendapat Fuller (1997), bahwa *lactobacilli, bifidobacteria* dan *L. lactis* mampu menghambat secara langsung bakteri patogen indikator *S.* Typhi.

FBS dari *B. longum Y-01* dan *L. acidophilus Y-0* menghasilkan aktivitas antagonistik yang sama kuatnya dalam menghambat bakteri patogen indikator *E.*

coli ATCC 25922 dengan diameter zona hambat sebesar 14-15mm, nyata lebih besar (P<0,01) dari yang dihasilkan BAL asal dadiah *L. plantarum D-01* dan *L. lactis D-01*yaitu masing-masing sebesar 12,64 mm dan 10,81 mm. Hasil ini sesuai dengan Surono (2004) yang menyatakan bahwa spesies dan strain dari *Lactobacillus* sp., *Leuconostoc* sp., *Pediococcus* sp. serta *Streptococcus* sp. mampu menghambat pertumbuhan *E. coli*, demikian pula spesies dari *Bifidobacteria* juga mampu menghambat secara langsung pertumbuhan bakteri *E. coli* (Fuller, 1997).

FBS dari BAL yaitu asal dadiah *L. plantarum D-01*dan *L. lactis D-01* dan asal olahan susu sapi *B. longum Y-01* dan *L. acidophilus Y-01*, semuanya mampu menunjukkan aktivitas antagonistik terhadap bakteri patogen indikator *S. aureus* ATCC 25923, dengan menghasilkan diameter zona bening penghambatan sebesar diameter antara 9,40 mm dan 13,80 mm. FBS dari *L. lactis D-01* menunjukkan aktivitas penghambatan terendah (P<0,05), sedangkan FBS dari *L. plantarum D-01*, *B. longum Y-01* dan *L. acidophilus Y-0* menghasilkan aktivitas antagonistik yang sama kuatnya (P>0,05) dalam menghambat bakteri patogen indikator *S. aureus* ATCC 25923 dengan rataan diameter zona hambat sebesar 12,55mm.

FBS dari *L. plantarum D-01*, *L. lactis D-01*, *B. longum Y-01* dan *L. acidophilus Y-01* mampu menghambat ketiga bakteri pathogen *S. typhimurium* ATCC 14028, *E. coli* ATCC 25922 dan *S. aureus* ATCC 25923 dengan menghasilkan zona bening penghambatan di sekitar sumur. Penghambatan terhadap bakteri patogen indikator dapat disebabkan oleh asam organik (Surono, 2004) yang menyebabkan penurunan pH lingkungan tumbuh hingga sekitar 4,0, lebih rendah dari pH optimum bakteri patogen yaitu sekitar 6,5 sampai 7,5. Asam laktat dan asam asetat merupakan salah satu senyawa antimikroba yang dihasilkan oleh BAL. BAL juga menghasilkan beberapa senyawa yang bersifat antimikroba, diantaranya diasetil, hidrogen peroksida, karbondioksida, dan senyawa protein yang lebih dikenal dengan sebutan bakteriosin (Salminen dan Wright, 1998). BAL juga menghasilkan hidrogen peroksida yang cukup besar, akumulasi senyawa tersebut terdapat di dalam sel dikarenakan BAL tidak menghasilkan enzim katalase. Mekanisme aktivitas penghambatan antimikroba dilakukan dengan cara merusak dinding sel bakteri, menghambat pembentukan dinding sel

yang sedang tumbuh, mengubah permeabilitas membran sitoplasma yang menyebabkan kebocoran nutrien di dalam sel, denaturasi protein sel serta perusakan sistem metabolisme dalam sel dengan cara menghambat kerja enzim intraseluler (Pelczar dan Chan, 2008).

KESIMPULAN

BAL asal dadiah *L. plantarum D-01*dan *L. lactis D-01*, serta asal olahan susu sapi *B. longum Y-01* dan *L. acidophilusY-01* teridentifikasi sebagai bakteri probiotik, disebabkan keempat BAL tersebut memiliki ketahanan yang baik dan mampu bertahan hidup di dalam kondisi keasaman lambung dengan pH yang berbeda (2,0; 2,5; 3,2; 7,2), adanya garam empedu 0,3 % *oxgall*, adanya antibiotik amoksisilin dan kloramfenikol, serta menghasilkan senyawa antimikroba yang mampu menphambat pertumbuhan bakteri pathogen indikator *S. typhimurium* ATCC 14028, *E. coli* ATCC 25922 dan *S. aureus* ATCC 25923.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung terselesaikannya penelitian ini dengan baik, khususnya kepada Kemendiknas yang telah membiayai penelitian ini, LPPM dan IPB untuk segala fasilitas yang dapat kami peroleh untuk kelancaran selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Berrada, N., J. F. Lemeland, G. Laroch, P. Thouvenot, & M. Piaia. 1991. *Bifidobacterium* from fermented milks: survival during gastric transit. J. Dairy Sci. 74:409–413.

Buckle, K. A., R. A. Edwards, G.H. Fleet & M. Wootton. 2007. Ilmu Pangan. Terjemahan : H. Purnomo dan Adiono. Universitas Indonesia, Jakarta.

Chou, L.S. & B. Weimer. 1999. Isolation and characterization of acid and bile tolerant isolates from strains of *Lactobacillus acidophilus*. J. Dairy Sci. 62:23-31.

Fuller, R. 1997. Probiotics 2 Applications and Practical Aspects. Chapman and Hall, London.

Jacobsen, C. N., V. R. Nielsen, A. E. Hayford, P. L. Moller, K. F. Michaelsen, A. Paerregaard, B. Sandstro, M. Tvede, & M. Jakobsen. 1999. Screening of probiotic activities of forty-seven strains of *Lactobacillus* spp. by in vitro techniques and evaluation of the colonization ability of five selected strains in humans. Appl. Environ. Microbiol. 65 : 4949-4956.

Liasi, S.A., T.I. Azmi, M.D. Hassan, M. Shuhaimi, M. Rosfarizan & A.B. Ariff. 2009. Antimicrobial activity and isolates of lactic acid bacteria from fermented fish product Budu. Malay J. Microbiol. 5(1) : 33-37.

Lin, W. H., C. F. Hwang, L. W. Chen, & H. Y. Tsen. 2006. Viable counts, characteristic evaluation for commercial lactic acid bacteria products. J. Food Microbiol. 23: 74-81.

Maheswari, R. R. A. 2008. Karakteristik Susu Sapi dan Susu Kambing yang Difermentasi dengan Kultur Starter Indigenous dan Diperkaya dengan Probiotik dan Prebiotik (Sinbiotik) sebagai Pangan Fungsional. Laporan Pelaksanaan Kegiatan Hibah Kompetensi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Mitsuoka, T. 1990. Profile of intestinal bacteria : our lifelong partners. Yakult Honsa co. Ltd.

Nakazawa, Y. & A. Hosono. 1992. Functions of Fermented Milk : Challenges for The Health Science and Technology. Elsevier Science Publisher B. V., New York.

Nannen, N. L. & R. W. Hutkins. 1991. Intracellular pH effect in lactic acid bacteria. J. Dairy Sci. 74 : 741-746.

Pelczar, M.J. & E. C. S Chan. 2008. Dasar-Dasar Mikrobiologi Jilid 1. Terjemahan R. S. Hadioetomo, T. Imas, S. S. Tjitrosomo & S. L. Angka. Universitas Indonesia Press, Jakarta.

Salminen, S. & A. V. Wright. 1998. Lactic Acid Bacteria. Marcell Dekker Inc., New York.

Salminen, S., A.V. Wright, & A. Ouwehand. 2004. Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Functional Aspects. 3th edition. Revised and Expanded. Marcel Dekker, Inc., New York.

Siswandono. 2000. Kimia Medical Edisi Revisi. Airlangga University Press, Surabaya.

Steel, R. G. D. & J. H. Torrie. 1991. Prinsip dan Prosedur Statistika. Terjemahan B. Sumantri. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Surono, I. S. 2004. Probiotik Susu Fermentasi dan Kesehatan. Tri Cipta Karya, Jakarta.

Susanti, I., R. W. Kusumaningtyas & F. Illaningtyas. 2007. Uji sifat probiotik BAL sebagai kandidat bahan pangan fungsional. J. Teknol. Industri Pangan. 13(2).

Volk, W. A & M. F. Wheeler. 1993. Mikrobiogi Dasar. Edisi kelima. PT Gelora Aksara Pratama, Erlangga.

Widodo, W. 2002. Bioteknologi Fermentasi Susu. Pusat Pengembangan Bioteknologi Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.

Wiryawan, K. G., A. S. Tjakradidjaja, R. R. A. Maheswari, & E. D. Janingrum. 2009. Isolasi BAL penghasil antimikroba. Pusat Studi Ilmu Hayati, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Zavaglia, A. G., G. Kociubinski, P. Perez & G. De Antoni. 1998. Isolation and characterization of *Bifidobacterium* strains for probiotic formulation. J. Food Protect. 61(7) : 865-873.

INAKTIVASI ENZIM LIPASE UNTUK STABILISASI BEKATUL SEBAGAI BAHAN *INGREDIENT* PANGAN FUNGSIONAL

(Inactivation of Lypase to Produce Stabilized Rice Bran As Functional Food Ingridient)

Slamet Budijanto[1)], Azis Boing Sitanggang[1)] , Sukarno[1)], Bram Kusbiantoro[2)]
[1)]Dep. Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, [2)]Balai Besar Penelitian Padi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementrian Pertanian

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan teknologi stabilisasi bekatul dengan cara inaktivasi enzim untuk menjadikan bekatul sebagai ingridien pangan fungsional. Hasil penelitian menunjukkan pola kenaikan asam lemak bebas bekatul dipengaruhi oleh varietas beras. Bekatul beras sintanur menunjukkan peningkatan asam lemak bebas tertinggi selama 24 jam pengamatan, diikuti oleh Pandan Wangi dan dua varietas non aromatik (Ciherang dan IR 64). Kadar asam lemak bebas 5% bekatul paling cepat dicapai pada Sintanur yaitu 3 jam, diikuti panda Pandan Wangi dan Ciherang sebesar 5 jam serta IR 64 sebesar 7 jam. Kondisi optimum *screew ext*ruder merk berto untuk inaktivasi enzim lipase pada stabilisasi bekatul adalah sebagai berikut: suhu T1=130 ^{0}C, T2=160 ^{0}C dan T3=230 ^{0}C dengan kecepatan feeding 12 Hz dan kecepatan ulir 12 Hz. Formula terbaik sereal bekatul berdasarkan analisis sifat fisik dan sensori adalah perbandingan menir jagung dengan bekatul 80:20, penambahan air 8% dan kondisi suhu T3 ekstruder 135 ^{0}C, Komposisi formula terbaik adalah kadar air 3.67%, kadar protein 10,52%, kadar lemak 4,41%, kadar karbohidrat 77.99% dan kadar abu 3.40%.

Kata kunci : Stabilisasi, bekatul, pangan fungsional.

ABSTRACT

The purpose of this research is to develope a rice bran stabilization technology by inactivation of the enzyme to make rice bran as a ingridient functional food. The result showed the pattern of increase in free fatty acids is influenced by the varietes of rice bran. Sintanur rice bran showed the highest increase in free fatty acid for 24 hours of observation, followed by Pandan Wangi and two non-aromatic varietes (Ciherang and IR 64). Free fatty acid content of 5% rice bran fastest achieved in Sintanur which is 3 hour, followed by Pandan Wangi and Ciherang for 5 hours and IR 64 for 7 haours. The optimun conditions screw extruder from Berto brand, to inactivation on lipase bran stabilization is as follows : temperature T1 = 130^{0}C, T2 = 160^{0}C and T3 = 230^{0}C with speed feeding of 12 Hz and screw speed 12 Hz. The best formula bran cereal based on the analysis of physical and sensory properties is the comparison of corn grits with rice bran groats 80:20, 8% addition of water and temperature conditions T3 extruder 135^{0}C. Base on proximate analysis was done, composition of the best formula is 3,67% water content, protein content 10,52%, fat content 4,41%, carbohydrate content of 77,99% and 3,40% ash content.

Keywords : Stablization, rice bran, functional food.

PENDAHULUAN

Bekatul atau *rice bran yang* selama ini hanya digunakan sebagai pakan ternak, sebenarnya mempunyai potensi yang sangat besar untuk dikembangkan sebagai pangan fungsional yang bermanfaat bagi kesehatan. Banyak peneltian telah melaporkan manfaat bekatul bagi kesehatan. Kandungan lipida bekatul telah dialporkan dapat memperbaiki metabolisme lipida seperti menurunkan lemak darah (hipolipedemia), dan menurunkan resiko penyakit jantung koroner dengan menurunkan total kolesterol dan LDL-kolesterol serta menaikkan HDL-kolesterol (Ardiansyah, 2006; Kahlon *et al*, 1996). Sedangkan komponen aktif lainnya seperti asam ferulat dan total fenol yang terdapat di dalam bekatul diketahui dapat menurunkan tekanan darah dan lemak darah, disamping itu tokotrienol dan *gamma-oryzanol* yang sebelumnya telah diketahui sebagai senyawa antioksidan. Kandungan oryzanol pada bekatul dapat digunakan sebagai senyawa anti tumor (Jariwalla, 2002; Ardiansyah, 2006). Asam ferulat akan melindungi asam lemak melawan kerusakan oksidasi yang disebabkan oleh berbagai jenis polutan, peroksida, dan radikal bebas yang dibentuk selama proses metabolisme tubuh. Asam ferulat juga dapat bekerja secara sinergis dengan komponen antioksidan lain, seperti asam kafeat, vitamin C, dan betakaroten, untuk menghilangkan radikal bebas, peroksida, dan zat berbahaya potensial lain (Saija, 1999). Bekatul juga telah dilaporkan dapat memperbaiki kadar gula darah baik pada tikus model untuk diabetes maupun pada penderita penyakit diabetes militus tipe 1 dan 2 (Juliano, 1993; Kahlon et al., 1994; Malekian, 1992).

Di beberapa negara maju, khususnya di Jepang dan Amerika Serikat, komponen bioaktif yang terdapat pada bekatul telah disuplementasi ke dalam produk-produk kecantikan. Produk-produk tersebut antara lain sabun mandi, pembersih kulit, dan pelembab muka (Silab, 2002). Lebih lanjut dilaporkan bahwa *Hydrolyzed Rice Protein Product* (*Nutriskin*) adalah suatu produk perawatan kulit dengan kandungan asam amino yang cukup beragam. Dalam kosmetika, serum merupakan bahan cair yang kandungannya sebagian besar asam amino, dan penggunaannya dioleskan langsung ke kulit. Kandungan asam amino yang terdapat pada bekatul diketahui sangat sesuai untuk memberikan efek perlindungan kulit (Silab, 2002).

Pemanfaatan potensi bekatul sebagai ingridient pangan fungsional yang sangat baik terkendala oleh cepatnya kerusakan bekatul pasca penggilingan yaitu timbulnya bau tengik dan rasa pahit (Astawan, 2009). Hal ini disebabkan oleh adanya proses hidrolisis lemak (trigliserida) menghasilkan asam lemak bebas karena adanya aktivitas enzim lipase in situ (Ramezanzadeh *et al*, 1999). Kadar asam lemak bebas di dalam bekatul meningkat dengan cepat dari 1-3 % menjadi 33 % setelah seminggu dan mencapai 46 % setelah 3 minggu. Diperkirakan kecepatan pembentukan ALB hasil hidrolisis minyak dalam bekatul mencapai 5-10 % per hari dan sekitar 70 % dalam sebulan (Damardjati, 1990). Seperti diketahui bahwa asam lemak bebas mempunyai karakterisitik sangat mudah dioksidasi. Ditunjang oleh kandungan PUFA bekatul yang relatif tinggi akan mempercepat kerusakan bekatul yaitu kerusakan hiodrolitik dan diteruskan dengan kerusakan oksidatif. Bekatul yang telah mengalami kerusakan oksidatif tidak layak digunakan sebagai bahan pangan fungsional (Barnes dan Galliard, 1991).

Proses pengahambatan aktivitas lipase pada bekatul padi telah banyak dilakukan baik secara fisik maupun secara kimia dan biologi (Sayre et al., 1982). Secara fisik adalah menggunakan panas (outaclave, sangrai, mikrowafe) (Ramezanzadeh *et al*, 1999), secara kimia menggunakan alkohol (Champagne, 1992) baik dalam bentuk cairan maupun uapnya sedangkan secara biologi menggunakan enzim. Prinsip dari inaktivasi enzim lipase pada prinsipnya adalah mendenaturasi protein sehingga terjadi perubahan konformasi prtein enzim yang dapat menyebabkan enzim menjadi tidak aktif.

Dari beberapa metode inaktivasi di atas, proses penghambatan lipase dengan menggunakan panas merupakan proses yang lebih efektif dan aplikasinya di industri dapat dilakukan dengan mudah dan tidak menimbulkan masalah keamanan pangan. Salah satu metode yang berpotensi untuk stabilisasi bekatul dengan panas adalah dengan menggunakan proses ekstrusi. Keunggulan proses ini adalah proses dapat dilakukan secara kontinyu dan diskontinyu dan dapat langsung digabung dengan mesin penggilingan padi sehingga dapat mencegah kerusakan bekatul awal akibat hidrolisis.

Pada penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa varietas padi berpengaruh terhadap pola peningkatan asam lemak bebas selama penyimpanan pasca penggilingan. Dari dua varietas yang dianalisis yaitu varietas mentik wangi dan waiapu buru menghasilkan pola kenaikan asam lemak bebas yang berbeda dimana kenaikan kandungan asam lemak bebas mentik wangi lebih cepat dibandingkan dengan waiapu buru. Data menajdi penting untuk merancang proses stabilisasi bekatul. Oleh karena itu perlu dieteliti lebih lanjut tentang pola kenaikan asam lemak bebas dari beberapa varietas yang paling banyak dihasilkan di Indonesia seperti IR 64, pandan wangi dan beras potensial lainnya.

***No dye** extruder* yang telah dicoba pada penelitian ini dapat digunakan untuk melakukan inaktivasi enzim. Metode yang digunakan adalah melakukan inaktivasi dengan melewatkan bekatul pada barrel yang diatur suhu dan kecepatannya tanpa pemasangan die (Bhattacharva dan Padmanabhan, 1992). Metode ini merupakan hal yang baru dalam proses inaktivasi enzim. Pada penelitian yang diusulkan akan dilakukan optimasi suhu dan waktu yang digunakan untuk memperoleh kestabilan maksimum tanpa merusak lemak. Hal ini penting dilakukan karena lemak bekatul mengandung PUFA yang relatif tinggi, sehingga jika dilakukan pemanasan berlebihan memungkinkan terjadinya kerusakan minyak yang tidak diinginkan.

Tujuan penelitian ini adalah pengembangan teknologi stabilisasi bekatul dengan cara inaktivasi enzim untuk menjadikan bekatul sebagai ingridien pangan fungsional.

METODE PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan terdiri dari alat proses stabilisasi dan pengolahan pangan fungsional *rice bran cereal*, alat analisis mutu dan alat analisis untuk penentuan umur simpan. Mesin peralatan stabilisasi dan pengolahan pangan fungsional *rice bran cereal*, terdiri dari: *huller, polisher, dry mixer,* **no dye** extruder merek Berto, alat pengemas. Peralatan analisis mutu terdiri dari *soxhlet*, penangas air, oven vakum, neraca analitik, buret, *water bath*, kompresor, spektofotomer, GC, Software MODE V untuk design dan analisis RSM.

Sedangkan peralatan untuk penentuan *shelf life* terdiri dari: inkubator dan UV-VIS spektrofometer.

Bahan

Bahan untuk pengolahan pangan fungsional yaitu bekatul, *grits* jagung, gula aren dan coklat bubuk dan kemasan aluminium foil. Sedangkan bahan kimia untuk analisis terdiri dari kertas saring, NaOH pro analisis, asam oksalat pro analisis, indikator pp, alkohol, aquadest, Hexane, alkohol, chloroform, asam asetat, KI, $Na_2S_2O_3$, TBA, standar internal (asam margarat). standar asam lemak (asam kaprat, asam laurat, asam miristat, asam palmitat, asam stearat, asam oleat, asam linoleat, asam linolenat dan asam eiokosanoat.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitan ini terdiri dari empat tahap penelitian yang secara diuraikan sebagai berikut :

Tahap I. Mempelajari pola kenaikan asam lemak bebas (perilaku enzim lipase in-situ) bekatul selama penyimpanan pasca penggilingan.

Penelitian tahap satu mengamati perubahan asam lemak bebas pada bekatul setelah proses penggilingan padi. Pengamatan dilakukan tiap jam sekali sampai 10 jam pada bekatul keempat varitas padi tersebut dengan 3 (tiga) kali ulangan. Analisis yang dilakukan adalah kandungan asam lemak bebas dengan metode titrimetri (Apriyantono, 1989; AOCS, 2005; 2005a).

Tahap II. Optimalisasi proses inaktivasi enzim lipase *dengan **no dye** extruder*.

Optimasi suhu, waktu dan kecepatan dilakuakan dengan menggunakan metode RSM (*respone surface metodology*), dimana parameter suhu ditentukan berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pengamatan dilakukan terhadap parameter kadar asam lemak bebas. Penentuan asam lemak bebas ditetapkan dengan metode titrimetri.

Tahap III. Pengembangan teknologi dan formulasi pangan fungsional *rice bran cereal*

Penelitian diawali dengan persiapan bekatul yaitu stabilisasi bekatul hasil penyosohan dengan proses ekstrusi tanpa die dengan kombinasi 3 suhu hasil penelitian tahap II. Kemudian dilakukan pengayakan terhadap bekatul stabilisasi dengan ukuran $\pm$ 40 mesh. Parameter formulai yang diuji yaitu perbandingan

jagung dengan bekatul 85:15, 80:20 dan 75:25, penambahan air yaitu 5%, 8% dan 11% dan suhu proses untuk yaitu 135^{o}C, 150^{o}C dan 165^{o}C pada T3 dengan suhu pada T1 dan T2 tetap yaitu 80^{o}C untuk T1 dan 100^{o}C untuk T2.

Proses *screening* dilakukan untuk memilih formulasi terbaik dari produk sereal sarapan. Penentuan formulasi terbaik ditentukan berdasarkan penilaian deskriptif yaitu bentuk, warna, bentuk dan keseragaman produk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan asam lemak bebas bekatul setelah proses pengolahan padi

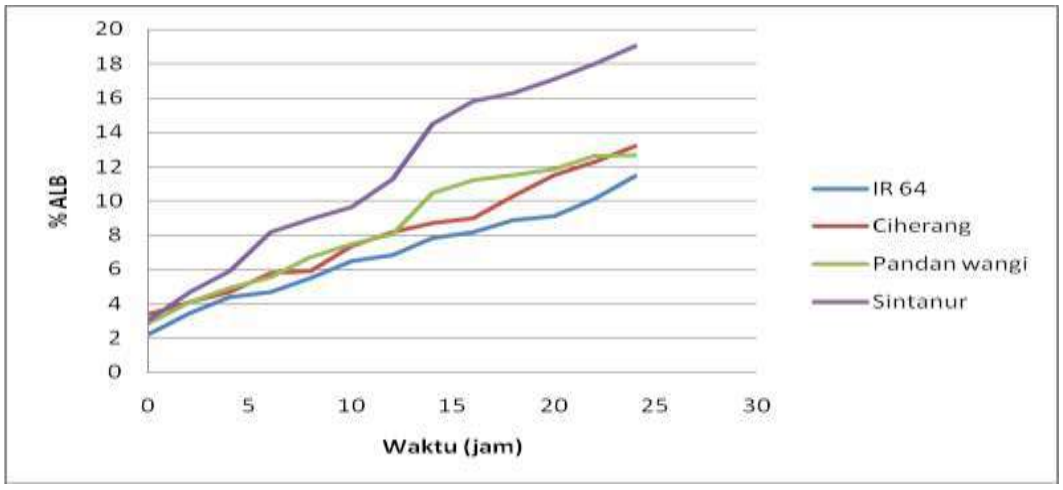
Pasca penggilingan padi jumlah asam lemak bebas pada bekatul meningkat dengan cepat, kecepatan peningkatan asam lemak bebas bekatul bebeda tiap varietas. Seperti terlihat pada Gambar 1, pola kenaikan asam lemak bebas dari beras aromatik lebih cepat dibandingkan dengan varietas non aromatik. Bekatul beras sintanur menunjukkan peningkatan asam lemak bebas tertinggi selama 24 jam pengamatan, diikuti oleh Pandan Wangi dan dua varietas non aromatik (Ciherang dan IR 64). Kenaikan tajam asam lemak bebas bekatul ini sesuai dengan yang dikemukanan oleh Darmadjati (1990), bahwa kadar asam lemak bebas di dalam bekatul meningkat dari 1-3 % menjadi 33 % setelah seminggu dan mencapai 46 % setelah 3 minggu. Jika lebih dicermati dari Gambar 6 waktu yang diperlukan untuk mencapai kadar asam lemak bebas 5% pada Sintanur, Pandan Wangi, Ciherang dan IR 64 masing-masing 3 jam, 5 jam, 5 jam dan 7 jam.

Informasi ini sangat penting untuk penanganan bekatul pasca penggilingan padi. Dari data yang diperoleh untuk mencegah kerusakan bekatul harus segera dilakukan stabilisasi dengan melakukan inaktivasi enzim. Dari data padda Gambar 5, menunjukkan bahwa untuk mencapai kadar asam lemak bebas dibutuhkan waktu kurang dari 5 jam, sehingga penanganan harus cepat, di tempat penggilingan. Hal ini juga harus mempertimbangkan teknologi yang dapat diaplikasikan dengan kondisi unit penggilingan padi beras di Indonesia.

Enzim lipase merupakan enzim hidrolitik, dimana enzim ini bekerja dengan adanya air pada bahan pangan. Enzim ini akan menghidolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas dan gliserol. Enzim lipase *in situ* dari kulit padi dan dari mikroba menyebabkan kerusakan hidrolitik pada lipid bekatul (Champagne

et al., 1992). Hasil pengamatan hubungan kadar air dengan kandungan asam lemak bekatul pada pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 7. Dari hasil analisis korelasi didapatkan bahwa kecepatan hidrolisa minyak bekatul oleh lipase tidak dipengaruhi oleh kandungan air bekatul. Hal ini ditunjukkan oleh koefsien korelasi yang rendah yaitu 0.271.

Kadar air yang terdapat pada bahan cukup digunakan oleh enzim lipase untuk melakukan aktivitas hidrolitiknya, yang artinya aktivitas hidrolisis enzim lipase bisa berjalan tanpa harus ada peningkatan kadar air bahan. Disini ada dugaan terdapat kadar air minimum yang digunakan enzim lipase untuk menghidrolisis lipid pada bekatul. Dari data diatas dapat dilihat bahwa kadar air bahan yang tinggi tidak selalu menghasilkan % ALB yang tinggi, begitu juga sebaliknya kadar air yang rendah tidak selalu menhgasilkan % ALB yang rendah. Hal ini diduga kadar air minimum yang digunakan oleh enzim lipase untuk menghidrolisis lipid berbeda beda, tergantung varietas darimana enzim lipase tersebut berada. Enzim akan optimum pada keadaan yang lembab.



Gambar 1. Perubahan ALB Bekatul Setelah Penggilingan.

Profil komposisi asam lemak pada bekatul

Komposisi asam lemak pada bekatul dianalisis dengan menggunakan GC-MS. Analisis ini dilakukan untuk melihat jenis asam lemak yang terdapat pada bekatul. Berdasarkan kromatogram yang diperoleh dari analisis menggunakan GC-MS diperoleh komposisi asam lemak sebagai berikut.

Tabel 1. Komposisi asam lemak bekatul 4 varietas padi

Nama Asam Lemak	Rumus Kimia	Ciherang	IR 64	Pandan Wangi	Sintanur
Asam Miristat	C 14:0	1,16	0,70	1,06	0,90
Asam palmitat	C 16:0	22,36	21,68	28,35	26,49
Asam Palmitoleat	C 16:1	0,22	0,20	0,29	0,25
Asam Stearat	C 18:0	1,95	2,18	1,84	1,85
Asam Oleat	C 18:1	38,01	40,49	32,29	33,12
Asam Linoleat	C 18:2	34,29	32,80	33,97	34,98
Asam alfa linolenat	C 18:3	1,32	1,31	1,38	1,47
Asam Eikosanoat	C 20:0	0,68	0,64	0,50	0,59
Asam Eikoenoat	C20:1			0,33	0,35

Tabel 1 memberikan informasi asam lemak pada bekatul banyak mengandung asam lemak tak jenuh yang didominasi oleh asam oleat (C18:1) dan asam linoleat (C18:2). Jika dikelompokkan berdasarkan ketidak jenuhannya dapat dilihat pada Tabel 8. Data ini memberi konfirmasi bahwa minyak bekatul sangat kaya akan asam lemak tak jenuh (lebih dari 80 %). Sehingga sangat potensial digunakan sebagai salad oil atau digunakan sebagai ingridient yang menyehatkan. Hal ini dikarenakan asam lemak tak jenuh seperti asam oleat dan linoleat berpotensi untuk menurunkan kolesterol (Hoseney,1994; Huy, 1996). Disisi lain dengan kandungan asam lemak jenuh tinggi ini perlu penanganan yang lebih hat-hati sehingga minyak tidak mengalami kerusakan oksidatif. Dimana kerusakan oksidatif akan dipercepat dengan awalan reaksi hidrilisis lemak. Dengan demikian langkah pertama yang harus dilakukan untuk dapat memanfaatkan bekatul adalah melakukan inaktivasi enzim sehingga dapat menekan laju hidrolisis yang sekaligus dapat menghambat kerusakan oksidatif.

Penentuan kondisi optimum mesin *doble screw ekstruder* tanpa *dye*

Tahap pra optimasi ini dilakukan untuk menentukan titik tengah (0), batas minimum (-1) dan batas optimum (1) dari masing masing variabel yang akan dioptimasi. Pada tahap ini T1 dan T2 diubah ubah untuk mencari titk tengah, kemudian setelah dilakukan proses ektrusi tanpa *dye* dengan suhu bervariasi dilakukan penyimpanan pada inkubator dengan suhu 40 ^{o}C selama 1 minggu

untuk dihitung nilai perubahn ALB selama penyimpanan. T1 dan T2 yang mengalami perubahan paling kecil digunakan sebagai titik tengah tahapan optimasi. Varietas padi yang digunakan pada tahapan optimasi adalah non aromatik.

Optimasi Stabilisasi Bekatul

Dari penelitian pendahuluan didapatkan titik tengah yang digunakan pada optimasi. Dari percobaan pra optimasi, maka variabel yang akan dioptimasi dengan tingkat level kisaran suhunya seperti diuraikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai kisaran pada respon permukaan

Perlakuan	Kode Perlakuan		
	-1	0	+ 1
T1	100	120	140
T2	140	160	180

Selanjutnya dilakukan tahap optimasi dengan mengikuti rancangan *cental composite design* (CCD) dengan 11 seri kombinasi T1 dan T2 berdasarkan tabel rancangan dengan sistem pengkodean di atas. Sebelas kombinasi perlakuan kemudian disimpan pada suhu 40 ^{o}C selama 1 minggu. Hasil pengamatan dari proses optimasi ini seperti tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3**.** Hasil optimasi suhu proses stabilisasi bekatul

Perlakuan Suhu		Kenaikan Asam Lemak Bebas
T1	T2	(%)
- 1	-1	5,843
1	-1	4,843
- 1	1	6,481
1	1	3,124
-1	0	4,722
1	0	4,677
0	-1	3,097
0	1	3.24
0	0	3.746
0	0	3.624
0	0	3.778

Dari hasil analisis RSM (Tabel 3) diperoleh grafik perubahan asam lemak bebas bekatul sebagai respon dari variasi T1, T2 seperti dapat dilihat pada Gambar **2**. Dari gambar 2 di atas dapat dilihat bahwa T1 yang berpengaruh sampai pada suhu 130 ^{o}C. Pada T1 diatas suhu 130 ^{o}C respon menunjukkan peningkatan ALB,

hal ini diduga pada suhu awal yang langsung tinggi menyebabkan *case hardening*, sehingga permukaan bekatul akan menjadi kering, permukaan yang kering akan menyebabkan transfer panas kedalam bahan tidak maksimal dan menyebabkan air dalam bahan tidak keluar secara keseluruhan. Hal ini diduga akan menyebabkan proses hidrolisis lemak oleh air dan panas selama penyimpanan.

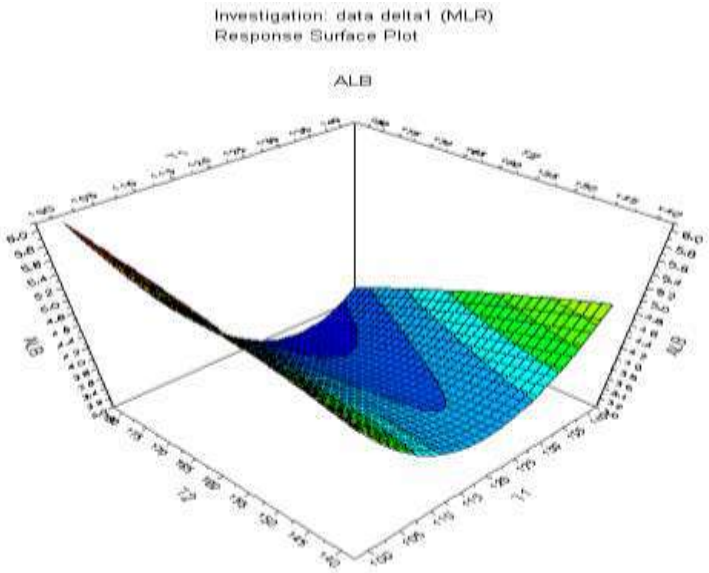
Sedangkan T2 pada batas 180^{o}C masih menunjukkan keefektifan dalam menginaktvasi lipase. Hal ini didukung dengan data bahwa pada kondisi tersebut nilai perubahan ALB lebih rendah yang artinya aktivitas enzim lipase in situ pada bekatul menurun. Dari pengamatan yang dilakukan meghasilkan perbedaan kadar air tiap perlakuan. Hal ini diduga panas yang sampai pada bahan berbeda beda sehingga air yang menguap juga berbeda. Perbedaan kadar air tiap bahan tersebut memperkuat indikasi adanya proses case hardening pada bekatul yang diekstrusi. Berikut gambar perbedaan kadar air tiap perlakuan. Nilai persamaan yang dihasilakn oleh grafik tersebut adalah :

$$Y = 3{,}522 - 0{,}374\ X_1 - 0{,}156\ X_2 + 1{,}486 X_1^{\,2} - 0{,}589\ X_1 X_2 - 0{,}063\ X_2^{\,2}$$

Verifikasi kondisi optimum

Verifikasi kondisi optimum dilakukan dengan melakukan proses inaktivasi lipase pada suhu T1 130 ^{o}C dan suhu T2 180 ^{o}C. Tujuan verifikasi ini adalah untuk mengetahui model prediksi dengan kenyataan. Dari perhitungan menggunakan software MODDE V diperoleh suhu sebesar 130 ^{o}C dan 180 ^{o}C optimum dengan nilai perubahan ALB sebesar 3,017. Kondisi tersebut kemudian di validasi sebanyak 5 kali. Untuk mengatahui besarnya selisih antara prediksi kondisi optimum dengan kenyataan yang terjadi. Hasil validasi yang diperoleh untuk nilai perubahan ALB varietas way apo buru adalah sebesar 3,231 Besarnya nilai perbedaan antara predikisi dengan kenyataan pada varietas way apo sebesar 7,09 %, hasil ini masih bisa diterima. Murad (2005) menyatakan bahwa perbedaan prediksi dengan validasi dibawah 10 % model yang didapat dari percobaan yang dilakukan masih bisa diterima. Secara teori seharusnya enzim lipase akan inaktif pada pemanasan dengan suhu 60 ^{o}C selama 15 menit. Kenaikan yang masih terus terjadi pada bekatul yang telah distabilisasi selama penyimpanan diduga disebabkan masih adanya air yang tersisa pada bahan sehingga menyebabkan

hidrolisis lemak, serta adanya enzim lipase yang masih aktif di dalam bekatul. Enzim lipase pada bekatul merupakan enzim lipase in situ, yaitu enzim yang terletak dalam matrik pangan. Dalam hal ini transfer panas ke dalam matrik bekatul akan sangat mempengaruhi proses inaktivasi enzim lipase. Pada penelitian ini diduga panas yang masuk kedalam matrik bekatul tidak merata, akibatnya masih terdapat sebagian keci enzim lipase insitu yang masih aktif.



Gambar 2. Respon perubahan asam lemak bebas terhadap T1, T2.

Hasil ini sama dengan penelitian penelitian sebelumnya yang menggunakan perlakuan fisik dalam inaktivasi lipase pada bekatul. Pada proses stabililasi secara fisik seperti (ekstruder single screw, microwave, ohmic, autoclave) masih terjadi kenaikan ALB selama penyimpanan. Kenaikan ini diduga perlakuan fisik yang dilakukan tidak dapat meninaktivasi enzim lipase in situ pada bekatul. Berbeda dengan proses stabilisasi yang dilakukan secara kimia, yaitu menggunakan bahan kimia seperti alkohol panas, uap alkohol dan HCl, pada proses ini tidak terjadi kenaikan ALB selama penyimapanan. Diduga bahan kimia yang digunakan dapat menembus matrik bekatul secara merata, sehingga dapat merusak enzim lipase pada bekatul. Proses menggunakan bahan kimia ini efektif dalam menginaktifasi enzim lipase, akan tetapi penerapannya dalam skala produksi besar akan susah, karena dibutuhkan penanganan khusus setelah proses stabilisasi dilakukan.

Proses penghambatan lipase dengan menggunakan panas merupakan proses yang efektif untuk dilakukan secara industry karena prosesnya mudah dan tidak berbahaya. Salah satu metode yang paling sering digunakan dalam stabilisai bekatul adalah dengan menggunakan proses ekstrusi. Proses ini dapat langsung digabung dengan mesin penggilingan padi sehingga kerusakan bekatul awal akibat hidrolisis awal dapat diminimalkan. Panas akan menyebabkan enzim lipase terdenaturasi sehinngga struktur protein akan berubah. Berubahnya struktur pada enzim akan menybebabkan enzim menjadi inaktif. Pada proses ekstrusi putaran tinggi akan menyebabkan protein terdenaturasi (Della Valle et al, 1993).

Uji kerusakan lipid pada bekatul

Dari kondisi optimum tersebut dilakukan uji kerusakan lipid yang ada pada bekatul. Kedua varietas ini dipilih karena pada penelitian sebelumnya dapat dilihat bahwa aktivtas enzim lipasenya paling tinggi. Proses stabilisasi yang dilakukan menggunakan suhu tinggi, sehingga ada dugaan akan terjadi kerusakan lipid bekatul uji yang dilakukan adalah penghitungan nilai TBA pada lemak bekatul. Berikut adalah tabel perbandingan nilai perubahan ALB, peroksida dan TBA antara bekatul yang distabilisasi dengan kontrol.

Tabel 4. Perbandingan antara bekatul yang diekstrusi dengan yang tidak

Perlakuan	ALB (%)	Bilangan Peroksida (meq/kg)	Bilangan TBA
Bekatul tanpa stabilisasi	26,791	0,198	0,14
Bekatul stabilisasi	3,178	0,838	0,69

Tabel 4 menunjukkan terjadi peningkatan nilai dari bilangan peroksida dan TBA pada varietas way apo buru. Pada penelitian ini nilai peroksida dan TBA pada bekatul yang terstabilisasi lebih tinggi daripada bekatul yang tidak distabilisasi. Hal ini dikarenakan panas yang digunakan dalam proses stabilisasi bekatul akan memicu kerusakan oksidasi lipid. Rekasi lanjutan terhadap lipid setelah hidrolisis adalah oksidasi ALB yang selanjutnya menghasilkan produk produk oksidasi seperti hidroperoksida. Dekomposisi produk produk oksidasi tersebut akan menghasilkan senyawa bermolekul kecil seperti malonaldehid dengan berat molekul 72. Malonaldehid digunakan sebagai indikator kerusakan

oksidasi asam lemak tak jenuh. Marsono (1997) menyatakan kenaikan bilangan peroksida pada bekatul yang distabilisasi menggunakan pengukusan menunjukkan adanya oksidasi pada lipid bekatul.

Pembentukan malonaldehid dan peroksida pada bekatul yang telah diekstrusi tetap berlangsung, hal ini disebabkan reakasi oksidasi lipid oleh cahaya atau panas selama penyimpanan. Sedangkan pada bekatul segar reaksi oksidasi masih terjadi juga, hal ini ditunjukkan dengan meningkatkanya nilai bilangan peroksida dan TBA selama penyimpanan. Peningkatan ini diduga disebabkan oleh aktivitas enzim lipase dan enzim lipoksigenase pada bekatul. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ramezanzadeh (1999), yang menyatakan bahwa enzim lipase dan enzim lipoksigenase pada bekatul yang tidak distabilisasi menggunakan microwave lebih tinggi aktivitasnya.

Perlakuan panas ditujukan untuk menginaktifkan enzim lipase dan lipoksigenase. Stabilisasi bekatul menggunakan panas dirancang untuk menstabilisasi bekatul dari hidrolisis lipolitik oleh lipase, yang kemudian rekasi berlanjut ke oksidasi. Bersamaan dengan rekasi enzimatis tersebut juga terjadi reaksi rekasi non enzimatis yang menyebabkan kerusakan pada lipid bekatul. Pengolahan panas menyebabkan penyebaran kembali minyak, destruksi antioksidan (Champagne et al 1994). Terbentuknya produk produk dekomposisi senyawa hasil oksidasi minyak seperti aldehid, keton atau alkohol akan menyebabkan perubahan bau pada produk, biasnya akan menimbulkan ketengikan.

Pengembangan Formula Sereal sarapan bekatul

Pengembangan formula diawali dengan seleksi formula dengan metode pengamatan deskriptif dari formula kombinasi persen penambahan bekatusl (tiga taraf), penamabahan air (tiga taraf) dan suhu ekstruder (tiga taraf). Hasil pengamatan deskriptif didapatkan 4 formula terpilih (skor yang disukai panelis) yaitu kadar bekatul (15%) penambahan air 11% dan suhu ekstrude 135 ^{0}C (A1B3C1), penambahan bekatul 20%, penambahan air 5% dan suhu ekstrusi 135 ^{0}C (A2B1C1), penambahan bekatul 20%, penambahan air 8% dan suhu ekstrusi 135 ^{o}C (A2B2C1) dan penambahan bekatul 20%, penambahan air 11% dan suhu

ekstrusi 135 ^{0}C (A2B3C1). Ke empat formula ini yang selanjutnya akan dianalisis sifat fisiko kimia dan ananlisis sensori.

Uji Ketahanan Susu

Selain dengan air panas kebiasan konsumsi sereal dilakukan bersama-sama dengan susu. Uji ini dilakukan untuk mengetahui berapa lama sereal yang dihasilkan pada susu. Dari hasil pengujian seperti tercantum pada Tabel 5, produk sereal yang dihasilkan lebih tahan dibandingkan dengan sereal komersial yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa keempat formula sereal yang dihasilkan relatif lebih tahan terhadap susu dibandingkan sereal komersial.

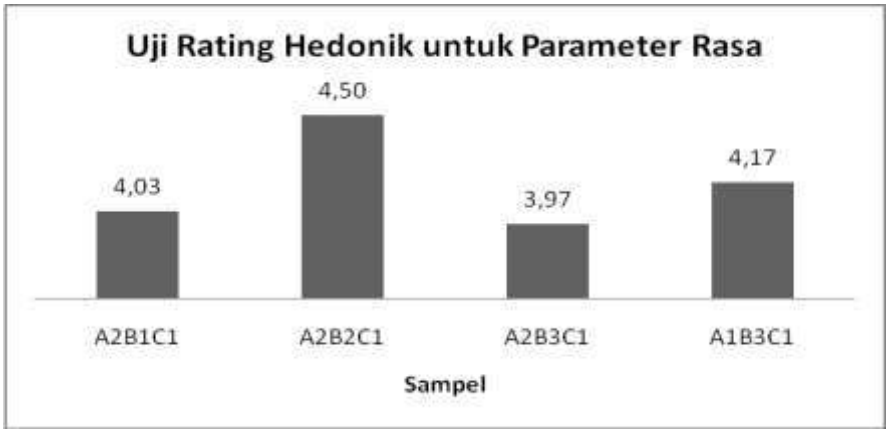
Tabel 5. Hasil uji ketahanan dalam susu

Sampel	Perbandingan Bahan*)	Penambahan Air (%)	Waktu
A1B3C1	85:15	11%	52 menit 48 detik
A2B1C1	80:20	5%	44 menit 58 detik
A2B2C1	80:20	8%	53 menit 04 detik
A2B3C1	80:20	11%	45 menit 20 detik
Sereal Komersial	-	-	22 menit 39 detik

*) Perbandingan grits jagung dengan bekatul 100. Suhu ekstrusi 135 ^{0}C.

Pengujian Sifat Organoleptik Produk

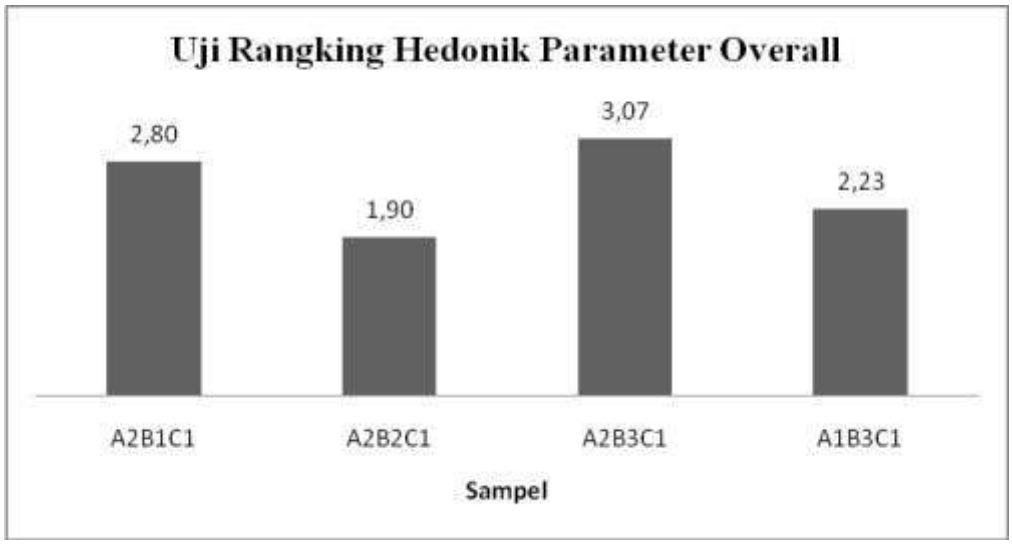
Pengujian organoleptik dengan uji kesukaan dengan parameter rasa dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil analisis kesukaan untuk parameter rasa.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa formula A2B2C1 yaitu bekatul 20% air 8% lebih disukai oleh panelis. Dimana parameter tersebut meruapakan parameter penting untuk produk formula.

Hasil pengujian kesukaan yang menempatkan formula A2B2C1 menjadi formula yang disukai panelis konsisten dengan hasil dari uji ranking seperti terlihat pada Gambar 4. Dimana formula A2B2C1 mendapatkan nilai terendah (1.90) dan berbeda nyata dibandingkan dengan ketiga formula lainnya ($p<0.05$).



Gambar 4. Hasil analisis uji ranking.

Analisis Proksimat

Hasil analisis proksimat dapat dilihat pada Tabel 6. Dari formula yang dihasilkan dapat dilihat bahwa keempat seral yang dihasilkan mempunyai kadar air yang relatif rendah yaitu sekitar 3%. Protein relatif tinggi sekitar 10% sedangkan lemak kurang lebih 4% kecuali formula A1B3C1 yang kadar lemaknya relatif rendah yaitu 2,25%.

Tabel 6. Hasil analisis proksimat formula terpilih

	Hasil Anlisis Proksimat (%)				
	Air	Protein	Lemak	Karbohidrat	Abu
A2B1C1	3,30	9,70	4,47	79,73	2,79
A2B2C1	3,67	10,52	4,41	77,99	3,40
A2B3C1	2,89	10,73	4,51	78,74	3,12
A1B3C1	3,33	10,26	2,25	81,05	3,11

KESIMPULAN

Pola kenaikan asam lemak bebas bekatul dipengaruhi oleh varietas beras. Bekatul beras sintanur menunjukkan peningkatan asam lemak bebas tertinggi selama 24 jam pengamatan, diikuti oleh Pandan Wangi dan dua varietas non aromatik (Ciherang dan IR 64). Kadar asam lemak bebas 5% bekatul paling cepat dicapai pada Sintanur yaitu 3 jam, diikuti panda Pandan Wangi dan Ciherang sebesar 5 jam serta IR 64 sebesar 7 jam.

Kondisi optimum *screew ext*ruder merk berto untuk inaktivasi enzim lipase pada stabilisasi bekatul adalah sebagai berikut: suhu T1=130 ^{0}C, T2=160 ^{0}C dan T3=230 ^{0}C dengan kecepatan feeding 12 Hz dan kecepatan ulir 12 Hz. Pada kondisi ini kerusakan oksidatif minyak masih dapat diterima.

Formula terbaik sereal bekatul berdasarkan analisis sifat fisik dan sensori adalah perbandingan menir jagung dengan bekatul 80:20, penambahan air 8% dan kondisi suhu T3 ekstruder 135 ^{0}C, Komposisi formula terbaik adalah kadar air 3.67%, kadar protein 10,52%, kadar lemak 4,41%, kadar karbohidrat 77.99% dan kadar abu 3.40%.

Dari hasil penelitian tersebut di atas maka teknik stabilisasi yang dikembangkan dapat digunakan sebagai dasar untuk pengemabangan alat stabilizer yang tepat sasaran yang bisa diterapkan di penggilingan padi skala kecil. Alat yang akan dirancang adalah screw carrier dilengkapi dengan pemanas listrik atau gas sehingga penggunaannya fleksibel.

DAFTAR PUSTAKA

[AOCS] American Oil Chemists' Society. 2005. AOCS Official method Cd 19-90. 2-Thiobarbituric acid value. Direct method. Di dalam *Official Metods and Recommended Practices of The AOCS Ed ke-5*. AOCS. Champaign.

[AOCS] American Oil Chemists' Society. 2005a AOCS Official method Ca 2f-93. Determination of Moisture and Volatile Matter in Fats and Oils Modified Method. Di dalam *Official Metods and Recommended Practices of The AOCS Ed ke-5*. AOCS. Champaign.

Apriyantono 1989. Petunjuk Laboratirum Analisis Pangan. IPB Press.

Ardiansyah, 2006. Bekatul untuk Menurunkan Hipertensi dan Hiperlipidemia. Artikel Iptek.

Astawan, Made. 2009. Bekatul Gizinya Kaya Betul. http://www.kompas.com/. [15 Februari 2010].

Barnes, P., dan Galliard, T. 1991. Rancidity in Cereal Products. Lipid Technol. 3:23-28.

Bhattacharva, M. dan M. Padmanabhan. 1992. *Extrusion Processing: Texture and Rheology*. Di dalam Y.H. Hui (ed.). Encyclopedia of Food Science and Technology. John Willey & Sons Inc., Toronto, Chichester, Brisbane, Singapore.

Champagne ET, Hron RJ, Abraham G. 1992. Utilizing Ethanol to Produce Stabilized Brown Rice Product. JAOCS. 69 (3) : 205 -208.

Champagne, E.T., D.F. Wood, B.O. Juliano, and D.B.Becthel. 1994. The Rice Grain and Its Gross Composition. In : Champagne, E.T. (Ed.). Rice Chemistry and Technology 3rd Edition. American Association of Cereal Chemis. Inc, Minnesota.

Damardjati DS, Santosa BA, Munarso J. 1990. Laporan Akhir. Studi Kelayakan dan Rekomendasi Teknologi Pabrik Pengolahan Bekatul. Balai penelitian tanaman pangan sukamandi. Subang.

Della Valle, G.D., Barres, C., Plewa, J., TAYEB, J. and Vergnes, B. 1993. Computer simulation of starchy products' transformation by twin-screw extrusion. J. Food Eng. 29: 1-3.

Hoseney, R. C. 1994. Principles of Cereal Science and Technology Second Edition. American Association of Cereal Chemist, Inc. St.Paul, Minnesota, USA.

Hui, Y.H 1996. Bailey's Industrial Oil & Fat Products. John Willey & Sons inc. United Stats of America.

Jariwalla RJ. 2002. Add Some Rice to you Life. Advances in rice based products with potential benefit to health. Summary of symposium http:www.thehormoneshop.com.

Juliano BO. 1993. Rice in Human Nutrition. Food and Agriculture Organiztion of The United Nations. Rome.

Kahlon T.S. 1996. Cholesterol Lowering by Rice Bran and Rice Bran Oil Unsaponifiable Matter in Hamster. American Association of Cereal Chemists, Inc, Publication no. C-1996-0109-06R.

Kahlon, T.S., F.I. Chow, dan R.N. Sayre. 1994. *Cholesterol-Lowering Properties of Rice Bran*. Di dalam J. Cereal Food World. 39 (2): 99-102. Februari 1994.

Malekian, F 1992. Functional, Nutritional and Storage Characteristics of Rice Bran as Affected by Microwave Heat and Extrusion Stabilization Methods. M.S. Thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, LA.

Murad S. 2005. Surface roughness in grinding : online prediction with adaptive neurofuzzy inference system. Departmenr of mechanical and material enginerring. Quins University, Ontarion 33 : 54-57.

Marsono 1997. Pengaruh pengukusan terhadap kandungan oryzanol dan perubahan sifat kimia minyak bekatul padi unggul selama penyimpanan. Agritech 17(2: 6-10).

Ramezanzadeh, F. M., Rao, R. M., Windhauser, M., Prinyawiwatkul, W., Tulley, R., dan Marshall, W. E. 1999. Prevention of Hydrolytic Rancidityin Rice Bran During Storage. J. Agric. Food Chem. 47:3050-3052.

Saija, A, A. Tomaino, A. Rossella Lo Cascio, D Trombetta, A. Proteggente, A De Pasquale, N Uccella, and F Bonina[3.] 1999 'Ferulic and caffeic acids as potential protective agents against photooxidative skin damage'. . *J Sci Food Agric*79, 476-480 (1999)

Sayre, R.H., R.M. Sunders, R.V. Erochian, W.G. Schultz, dan E.C. Beagle. 1982. Review of rice bran stabilization system with emphasis ion extrution cooking. Cereal Food World 30:342-348.

Silab, 2002. Nutriskin Hydrolyzed Rice Protein Analysis Data. Unpublished data submitted to CTFA, June 20 p. 11.

TEKNIK KENDALI PROSES PRODUKSI MINYAK SAWIT MERAH SERTA APLIKASINYA PADA BEBERAPA PRODUK PANGAN (*COCOA BUTTER EQUIVALENT*, MINUMAN EMULSI, DAN MIKROENKAPSULAT)

(The Control Techniques in The Production Process of Red Palm Oil and Its Application in Some Food Products (Cocoa Butter Equivalent, Emulsion Drink and Microencapsulate))

Tien R Muchtadi, Nuri Andarwulan, Sugiyono
Dep. Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian IPB

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengupayakan teknik kendali proses dalam produksi minyak sawit merah serta aplikasinya pada beberapa produk pangan seperti teknik formulasi dan produksi *Cocoa Butter Equivalent* (CBE),minuman emulsi serta mikroenkapsulat. Hasil penelitian ini pada proses deodorisasi minyak sawit merah pada suhu 140 ^{o}C selama 1 jam direkomendasikan sebagai kondisi deodorisasi terbaik (kadar karoten 70%;375,33 mg/kg); mereduksi odor sampai intensitas 3,3. Kadar β karoten dalam NRPO : 336.34±3.20 ppm, terdegradasi mengikuti ordo satu (persamaan Arrhenius Ea=55581.89 J/mol,k=5974.996 exp(-5416.97/T). Proses *blending* menghasilkan produk CBE dengan distribusi TAG yang mirip dengan CB. SMP produk CBE hasil *blending* relatif lebih tinggi dari SMP CB. Proses fraksinasi memekatkan TAG cukup tinggi. Formulasi minuman emulsi yang dipilih rasio minyak:air = 7:3 untuk emulsifier Tween-80 dan 6:4 untuk emulsifier sukrosa ester asam lemak tipe S-1570, P-1570, dan tipe S ber-HLB 15. Berdasarkan kemampuannya untuk menghasilkan mutu mikroenkapsulat minyak sawit merah yang terbaik pada parameter kadar air, rendemen, retensi β-karoten, kelarutan, warna diperoleh dengan menggunakan *tray dryer* yang dimodifikasi dengan tipe *box*.

Kata kunci : Minyak sawit merah, kendali proses, *cocoa butter equivalent* (CBE), minuman emulsi, mikroenkapsulat.

ABSTRACT

The purpose of this research is to seek control techniques in the production process of red palm oil and its application in some food products such as Cocoa Butter Equivalent formulations technique and production (CBE), emulsion drink, mikroencapsulate. The results of this research on the process deodorization red palm oil at a temperature of 140 ^{o}C for 1 hour is recommended as the best deodorisasi condition for being able to retain nearly 70% of carotenoids (375.33 mg / kg) and simultaneously able to reduce Odor intensity level 3.3. B-carotene levels in NRPO still quite high, reaching 336.34 ± 3:20 ppm. β-carotene in order NRPO degraded following one, using the Arrhenius equation obtained Ea = 55581.89 J / mol, with the equation: k = 5974,996 exp (-5416.97 / T). The process of blending with fat CBE products with TAG distribution is similar to CB. SMP products blending CBE results are relatively higher than SMP CB. Fractination process successfully concentrated on the main TAG is high enough in the product. Emulsion formulation selected drink include oil ratio: water = 7:3 for the emulsifier Tween-80 and 6:4 for the emulsifier sucrose fatty acid ester type S-1570, P-1570, and the type S to HLB 15. Based on its ability to produce quality red palm oil mikroencapsulate is the best in quality parameters water content, yield mikroencapsulate products, β-carotene retention, solubility in water, powder color and the color of the solution using modified tray dryers.

Keywords : Red palm oil, control processes, cocoa butter equivalent (CBE), emulsion drink, microencapsulate.

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu tanaman unggulan Indonesia. Saat ini Indonesia merupakan produsen minyak sawit terbesar di dunia, produksi dan luas arealnya telah melampaui Malaysia. Produksi CPO tahun 2007 mencapai 17,37 juta ton dengan luas areal perkebunan kelapa sawit sebesar 6,78 juta hektar (Dirjen Bun, 2008). Produksi minyak sawit di Indonesia sebagian besar didukung oleh perkebunan kelapa sawit rakyat. Lebih kurang 37% dari seluruh areal kelapa sawit di Indonesia adalah perkebunan rakyat, sedang sisanya diusahakan oleh pemerintah dan swasta. Devisa yang diperoleh dari ekspor minyak kelapa sawit dan turunannya pada tahun 2007 mencapai US$ 6,2 milyar.

Menurut standar WHO (*World Health Organization*), konsumsi per kapita minyak dan lemak pangan minimal 12 kg per tahun dan kebutuhan konsumsi Indonesia adalah sebesar 13 kg per tahun di tahun 2006 dan meningkat sebesar 1% setiap tahunnya (Goei, 2008). Peningkatan konsumsi dan produksi ini perlu didukung oleh pengolahan minyak sawit untuk menghasilkan komoditas sawit yang beraneka ragam, termasuk di antaranya adalah sebagai minyak makan.

Sebagai bahan baku utama minyak makan, minyak sawit memiliki banyak keunggulan di antara bahan baku lainnya. Keunggulan utama dari minyak sawit adalah kandungan mikronutriennya yang tinggi sehingga memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi *healthy oil*, yang diproses dan dikendalikan sedemikian rupa sehingga kandungan nutrisi yang ada di dalamnya dapat dimanfaatkan untuk kesehatan. β-karoten telah lama diketahui berfungsi sebagai provitamin A dan tokoferol berfungsi sebagai vitamin E. Kandungan α- dan β-karoten dalam minyak sawit kasar (*Crude Palm Oil*, CPO) sebesar 500-1500 ppm adalah yang tertinggi dibandingkan sumber lainnya. Sawit juga merupakan sumber yang kaya akan tokoferol dan tokotrienol (700-1000 ppm) (Goh, Choo, dan Ong 1985). Permintaan akan produk-produk nutrifikan pangan saat ini semakin berkembang. Zeba *et al*. (2006) melakukan kajian penggunaan minyak sawit merah sebagai nutrifikan pangan dalam sajian makan siang bagi anak-anak usia sekolah dan memberikan respon positif dalam mengatasi defisiensi vitamin A.

Minyak kelapa sawit (CPO) adalah minyak yang dihasilkan dari proses ekstraksi mesokrap buah sawit. Saat ini, sebagai produsen minyak sawit terbesar

di dunia, seyogyanya tingginya produksi CPO tersebut harus diimbangi dengan upaya untuk meningkatkan mutu dan nilai ekonomisnya. Salah satu upaya tersebut adalah dengan memproduksi minyak sawit merah yang mengandung karoten dan tokoferol tinggi kemudian diaplikasikan pada berbagai produk pangan seperti *Cocoa Butter Equivalent* (CBE), minuman emulsi serta mikroenkapsulat sehingga akan menaikkan nilai tambah produk akhirnya.

Berdasarkan hal tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah mengupayakan teknik kendali proses dalam produksi minyak sawit merah serta aplikasinya pada beberapa produk pangan seperti teknik formulasi *Cocoa Butter Equivalent* (CBE), teknik formulasi dan produksi minuman emulsi serta optimasi teknik mikroenkapsulat. Aplikasi pada produk pangan tersebut diharapkan akan mempunyai nilai tambah tinggi dan bermanfaat bagi tubuh.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini berlangsung selama 2 tahun, mulai Maret 2009 hingga November 2010. Lokasi penelitian di Laboratorium Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan FATETA IPB, Laboratorim Pilot Plant SEAFAST Center IPB serta Laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Cimanggu Bogor.

Bahan baku utama yang digunakan adalah minyak sawit netral (NRPO) dan NDPO (*Neutralized Deodorized Palm Oil*). CPO diperoleh dari PT. Sinar Meadow International Indonesia. Untuk produksi mikroenkapsulat minyak sawit merah digunakan bahan-bahan penyalut berupa *Carboxy Methyl Cellulosa* / CMC (AKULCELL AF, AK 20-2785 Netherland), gelatin serta maltodekstrin dengan DE 10 merk Hi-Cap 100 yang diperoleh dari National Park. Bahan lainnya adalah gas N_2 teknis yang berfungsi sebagai gas pelucut (*stripping gas*) serta bahan-bahan kimia untuk analisa kadar tokopherol, kadar total karoten, kadar air, komposisi asam lemak, asam lemak bebas, uji nilai peroksida, TBA, kadar dien terkonjugasi, Lemak Tengkawang (*Illipe Butter*), Asam Stearat, Enzim lipase spesifik-1,3 (Lipozyme TL IM), emulsifier, pengawet, antioksidan, pengkelat, pemanis, dan flavor. Emulsifier yang digunakan adalah emulsifier tween 20. Pengawet yang digunakan adalah sodium benzoat, pengkelat etilen diamil tetra

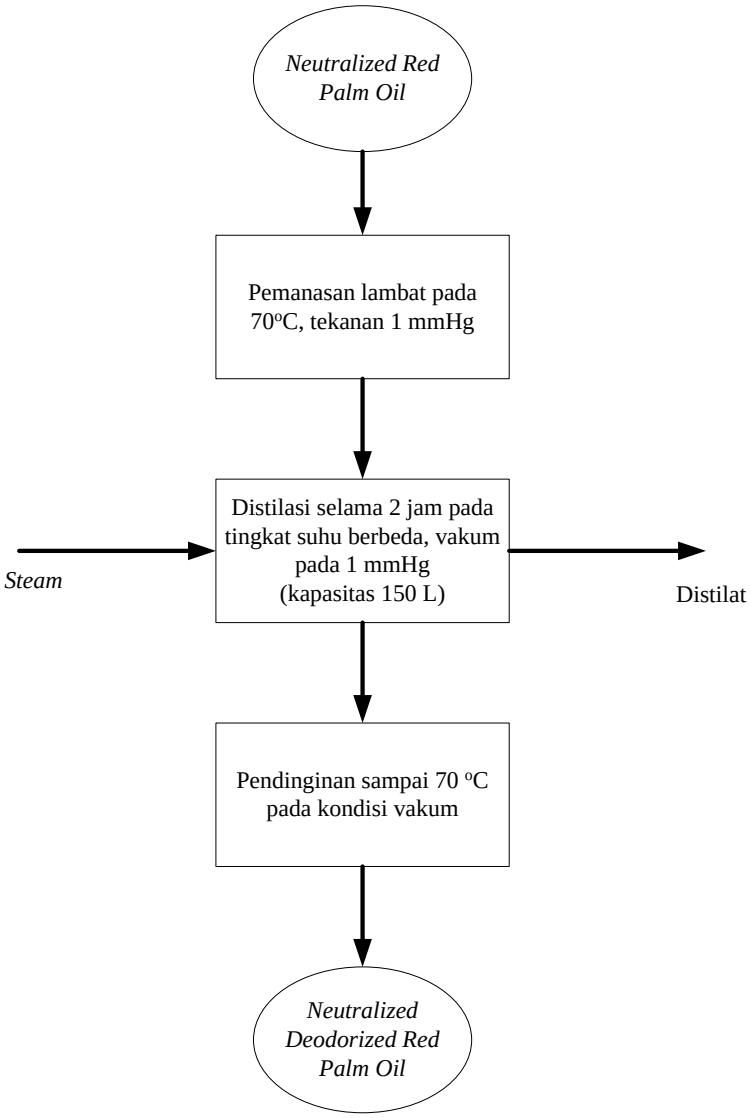
asetat (EDTA), antioksidan butil hidroksil toluen (BHT), dan pemanis sukrosa. Flavor yang digunakan adalah flavor orange T dan orange citronova 533 dari PT. Firmenich, Jakarta serta bahan untuk analisis kimia.

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah deodorizer (peralatan distilasi vakum), spektrofotometer, erlenmeyer, oven, desikator, timbangan analitik, labu ukur, corong, *hot plate*, termometer, peralatan titrasi, Lovibond tintometer, *orbital shaker*, *water bath*, pompa vakum, refrigerator, *rotary evaporator*, *High-Performance Liquid Chromatography* (HPLC Hewlett Packard series 1100) dengan detektor IR dan UV-Vis, *Bruker Minispec PC 100 Nuclear Magnetic Resonance Analyzer*, *Gas Chromatography* (Shimadzu GC-9AM, Japan) dengan detektor FID, inkubator, cawan alumunium dan porselin, oven, tanur, pemanas Kjeldahl, alat destilasi, alat ekstraksi soxhlet, hot plate, pendingin balik, stirer, vortex, *milipore*, *centrifuse*, filter 0,45 μm, buret, *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), ruang dan peralatan pengujian organoleptik, desikator, *Texture Analyzer*, pengelim plastik, alat pengering *thin layer drying*, thermokopel, termometer, homogenizer Ultra Thurrax, inkubator suhu rendah; chromameter (Minolta CR-200), *rotary shaker*, sentrifuse, desikator, lampu UV, dan alat-alat gelas untuk analisis.

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahapan yang diuraikan sebagai berikut :

1. Penetapan Teknik Kendali Proses Produksi Minyak Sawit Merah

Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 1. Parameter yang diamati antara lain : rendemen, kadar asam lemak bebas (AOAC 2005), bilangan peroksida (AOAC 2005), kadar air (AOAC 2005), bilangan iod (AOAC 2005), kadar karoten (PORIM 1995).



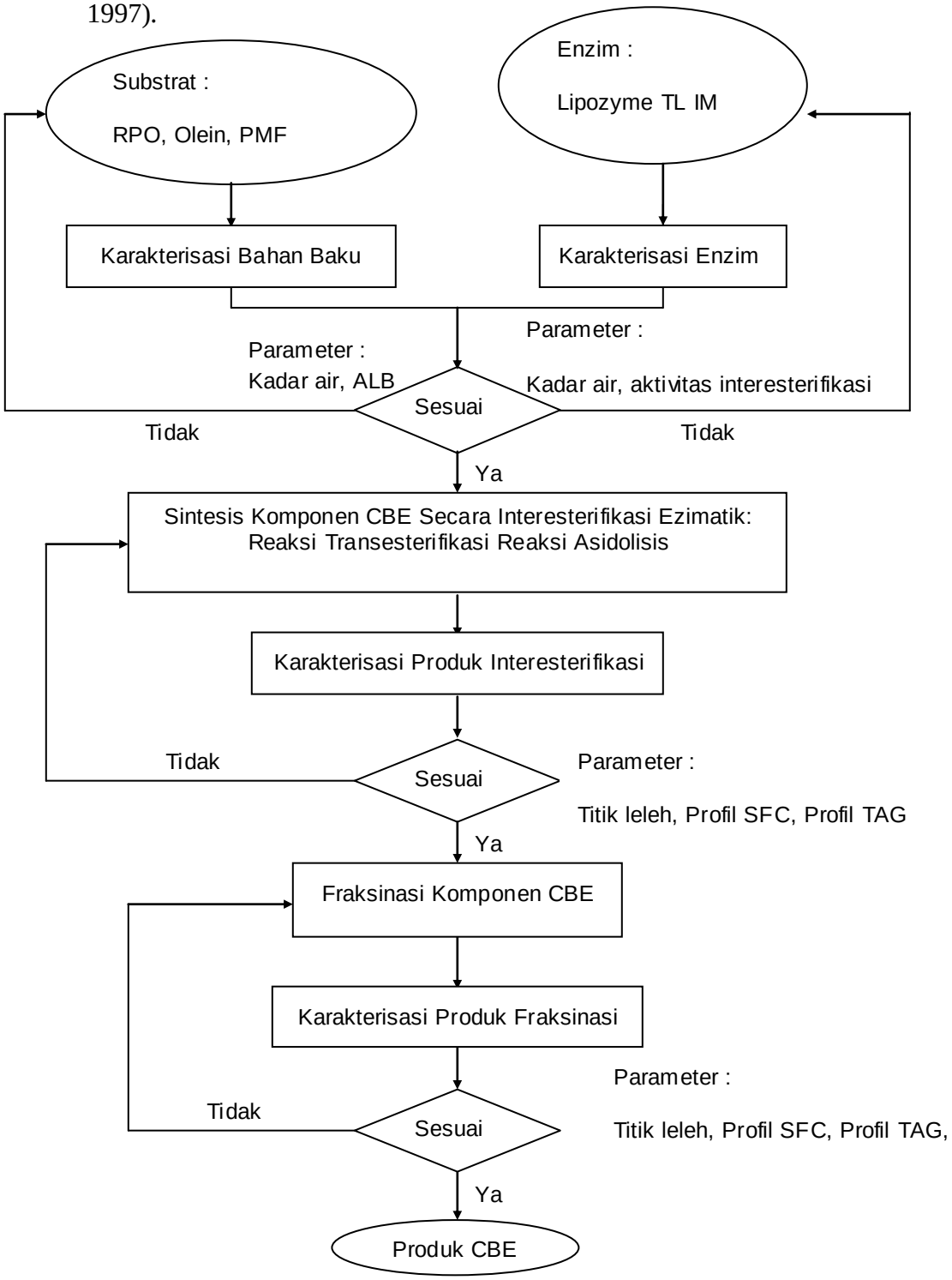
Gambar 1. Diagram Alir Penetapan Teknik Kendali Proses Produksi Minyak Sawit Merah.

2. Aplikasi Minyak Sawit Merah pada Produk Pangan

a. Aplikasi pada *Cocoa Butter Equivalent* (CBE)

Tahapan penelitian yang akan dilakukan secara skematik dapat dilihat pada Gambar 2. Secara umum, tahapan penelitian aplikasi minyak sawit merah pada proses produksi CBE yaitu blending dan interesterifikasi. Parameter yang diamati antara lain penentuan *slip melting point* (AOCS Cc 3-25, 2005), analisis komposisi triasilgliserol (AOCS Ce 5c-93, 1997), analisis *solid fat content* (SFC) (IUPAC 2.150

ex 2.323, 1987) dan Analisis komposisi asam lemak (AOCS Ce 1-62, 1997).



Gambar 2. Diagram Alir penelitian CBE.

b. Aplikasi Minyak Sawit Merah pada Minuman Emulsi

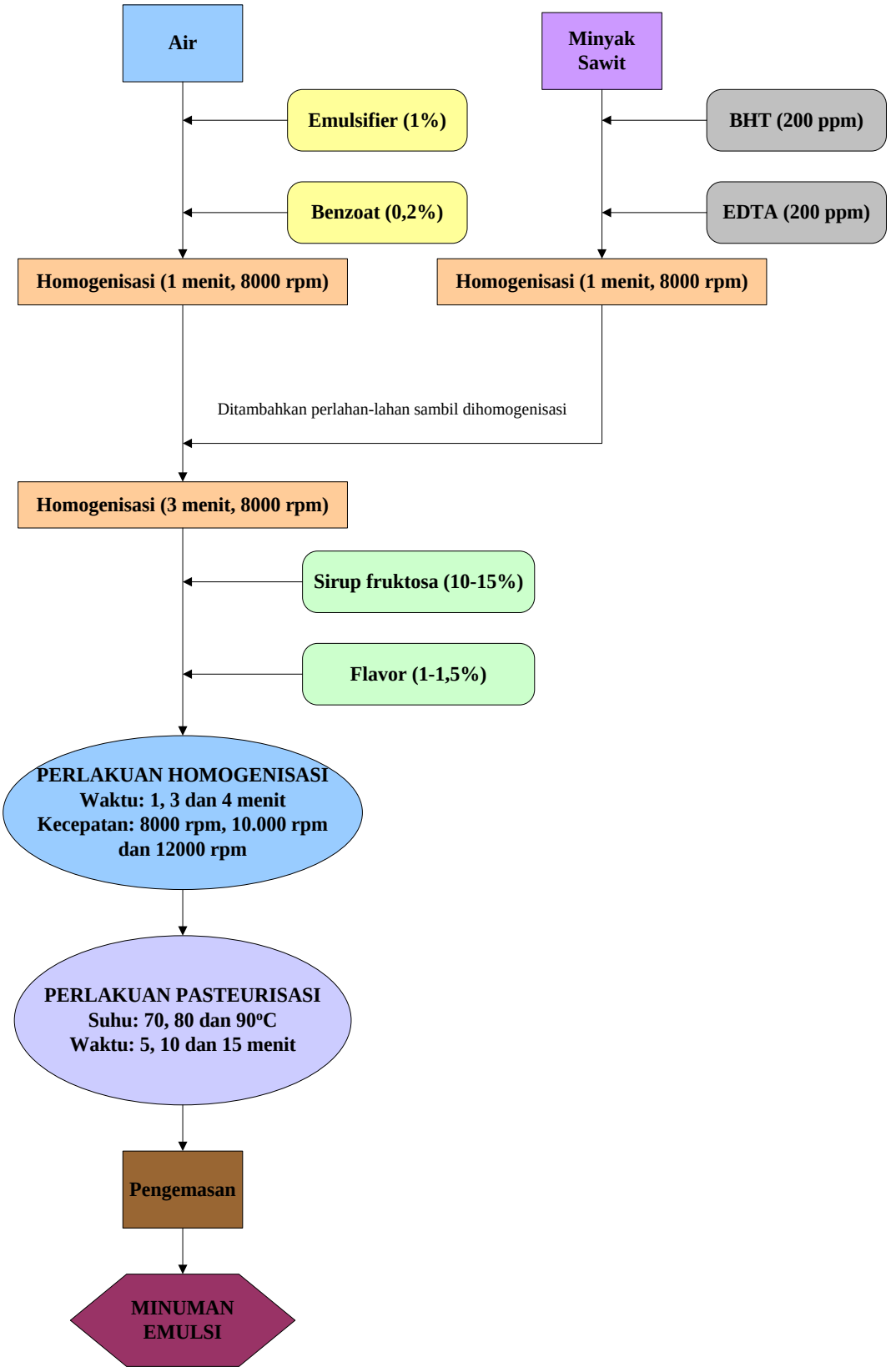
Bagan alir penelitian aplikasi minyak sawit merah pada minuman emulsi dapat dilihat pada Gambar 3. Mutu produk minuman emulsi yang dihasilkan dievaluasi melalui pengujian parameter mutunya berupa analisis: total karotenoid, metode spektrofotometri (PORIM 1995), kadar vitamin A, metode HPLC (AOAC, 1995), uji umur simpan (Metode Arrhenius) dan uji organoleptik (Uji Hedonik).

c. Produksi Mikroenkapsulat Minyak Sawit Merah

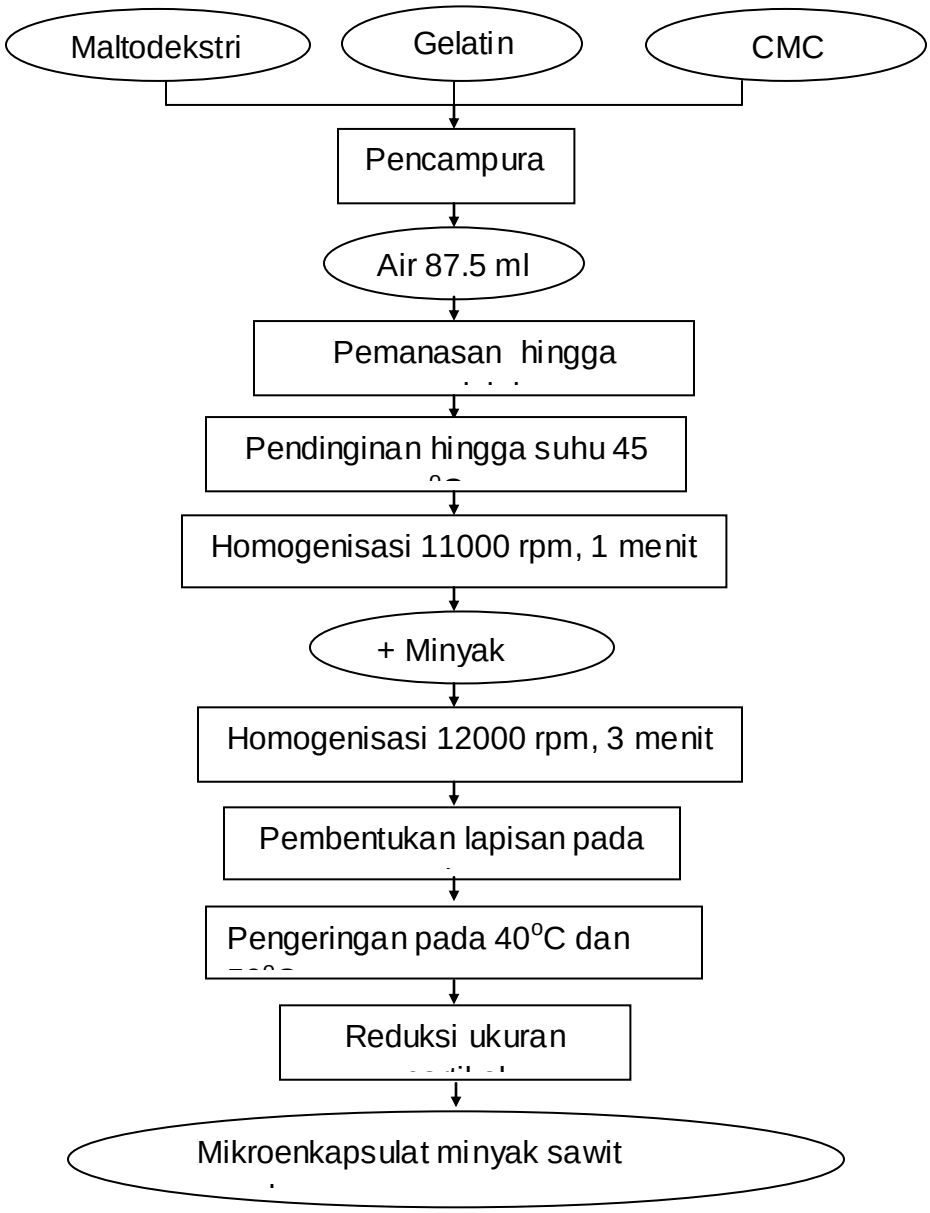
Diagram alir pembuatan mikroenkapsulat minyak sawit merah dapat dilihat pada Gambar 4. Tahapan penelitian produksi mikroenkapsulat minyak sawit merah adalah:

1) Optimasi Proses Pengeringan Mikroenkapsulat Minyak Sawit Merah

Pemilihan Metode Pengeringan Pada tahap ini dicobakan beberapa metode pengeringan yang mungkin digunakan pada suhu rendah ($\pm$ 50^{o}C) seperti pengering rak (*tray dryer),* pengering drum (*drum dryer*), pengering fluidisasi (*fluidised bed dryer*), pengering semprot (*spray dryer).* Untuk penelitian produk mikroenkapsulat minyak sawit merah, analisis produk mikroenkapsulat yang akan dilakukan adalah : Stabilitas mikroenkapsulat selama penyimpanan metode akselerasi berdasarkan perubahan RH**,** Bilangan Iod, Metode Titrasi (Apriyantono *et al.*, 1989)**,** Penentuan Asam Lemak Bebas, Metode Titrasi (SNI, 1998)**,** Bilangan Peroksida, Metode Titrasi (AOAC,1990)**,** Karotenoid, Metode spektrofotometri (Apriyantono *et al.*, 1989)**,** Beta-karoten, Metode Spektrofotometri (AOAC, 1995), Kadar air, Metode Oven (AOAC, 1995), Kelarutan, Metode Gravimetri (Fardiaz *et al.* , 1992), Warna mikroenkapsulat, Metode Hunter (Hutching, 1999) dan Warna Larutan, Metode Lovibond Tintometer.



Gambar 3. Proses Produksi Minuman Emulsi Minyak Sawit Merah.



Gambar 4. Diagram Alir Pembuatan Mikroenkapsulat Minyak Sawit Merah

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penetapan Teknik Kendali Proses Produksi Minyak Sawit Merah

Untuk mengetahui kualitas NRPO sebagai bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini, maka analisis fisiko kimia bahan baku dilakukan pada setiap batch proses deodorisasi. Analisis sifat fisiko-kimia dilakukan terutama terhadap parameter-parameter kritis yang akan digunakan selanjutnya untuk mengukur kinerja proses deodorisasi. Analisis fisiko kimia yang dilakukan meliputi kadar air, ALB, kadar karoten, bilangan peroksida, dan warna. Secara umum hasil analisis ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakterisasi sifat fisiko kimia NRPO secara umum[*)]

Parameter	NRPO	Referensi	Sumber
Kadar asam lemak bebas (%)	0.43	0.13 – 0.30	Basiron (2005); Mayamol *et al.*(2007); Widarta (2008)
Kadar karoten (mg/kg)	525.42	> 400	Mayamol *et al.*(2007); Widarta (2008)
Kadar air (%)	0.3	0.1 – 0.26	Basiron (2005); Mayamol *et al.* (2007)
Bilangan peroksida (meq/kg)	11.49	< 7.5	Morad *et al.* (2006); Widarta (2008)
Warna[**)]	30 Y + 12.8 R	20-30Y+ 10-22 R	Baharin *et al.* (2001); Widarta (2008)

[*)] Nilai rata-rata; [**)] Y = *Yellow*; R = *Red*

Nilai rata-rata kadar karoten NRPO yang digunakan pada penelitian ini sebesar 525.42 mg/kg. Kadar karoten NRPO tersebut masih cukup tinggi yaitu di atas 500 mg/kg meskipun telah mengalami proses deasidifikasi secara kimia. Kadar karoten dalam CPO berkisar 500-700 mg/kg (Goh, Choo, dan Ong 1985; Widarta 2008), dan setelah mengalami proses deasidifikasi relatif tidak berkurang secara signifikan. Widarta (2008) melaporkan *recovery* karoten pada NRPO sebesar 87.30%. Hal ini menunjukkan bahwa karoten merupakan hidrokarbon yang relatif stabil terhadap alkali (deasidifikasi secara kimia) dan merupakan fraksi yang tak tersabunkan yang terdapat dalam minyak. Kadar air NRPO rata-rata yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 0.3%. Bilangan peroksida NRPO yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai rata-rata sebesar 11.49

meq/kg. Widarta (2008) melaporkan bahwa rata-rata nilai bilangan peroksida NRPO yang dihasilkannya masih berada di bawah nilai 5 meq/kg. Tingginya bilangan peroksida merupakan indikasi dimulainya kerusakan oksidatif pada minyak, bau/ rasa tidak enak pada minyak (Rossel 1994).

Hasil pengukuran warna NRPO dengan menggunakan Lovibond Tintometer menunjukkan tidak adanya perbedaan yang berarti dengan hasil yang telah dilaporkan oleh Widarta (2008), yaitu dengan nilai Y (kuning) sekitar 30 dan nilai R (merah) di atas 10. Masih tingginya kadar karoten setelah proses deasidifikasi secara kimia (>500 mg/kg) menyebabkan warna merah NRPO yang terukur pada skala Lovibond masih relatif tinggi. Hal ini karena karoten sebagai komponen utama pemberi warna pada minyak sawit tidak mengalami banyak penurunan. Berdasarkan hasil uji fisiko-kimia NRPO secara umum maka dapat disimpulkan bahwa beberapa parameter kualitas NRPO tidak sesuai dengan kualitas yang disarankan oleh beberapa literatur terutama untuk kadar asam lemak bebas, kadar air, dan bilangan peroksida. Akan tetapi, masih memiliki kadar karoten dan kualitas warna yang masih relatif baik.

Kondisi proses deodorisasi melibatkan pengaturan suhu, aliran gas pelucut, serta tekanan vakum. Untuk mendapatkan kondisi proses yang baik dan stabil, perlu dilakukan uji coba proses. Kondisi proses yang dicobakan pada proses deodorisasi tersebut mampu mereduksi kadar air dan bilangan peroksida masing-masing hingga 0% dan 0.36%. Kadar karoten dapat dipertahankan hingga 337.43 mg/kg, dan secara fisik NDPO masih berwarna merah-jingga walaupun sedikit lebih pucat. Pengukuran warna NDPO menunjukkan nilai R (merah) skala Lovibond sebesar 9.7. Bau/ odor dari NDPO masih memiliki karakteristik bau sawit, walaupun sudah sangat berkurang dibandingkan dengan NRPO.

Peningkatan suhu menyebabkan nilai retensi karoten semakin berkurang. Demikian pula halnya dengan waktu deodorisasi, semakin lama proses deodorisasi akan menurunkan nilai retensi karoten. Nilai retensi karoten tertinggi diperoleh untuk proses deodorisasi pada suhu 130 dan 140 ^{o}C selama 1 jam yang mencapai sekitar 70 %, sedangkan nilai terendah terlihat pada proses deodorisasi pada suhu 150 ^{o}C selama 2 jam. Perlakuan proses deodorisasi selama 2 jam baik pada suhu 130 dan 140 ^{o}C tidak berbeda nyata ($P< 0,05$) dengan perlakuan

deodorisasi selama 1 jam pada suhu 150 ^{o}C. Laju kerusakan karoten semakin tinggi dengan paparan suhu yang tinggi dan waktu deodorisasi yang lama. Hal ini terlihat dengan penurunan retensi karoten semakin besar untuk proses deodorisasi selama 2 jam pada suhu 150 ^{o}C dibandingkan dengan waktu yang sama pada suhu 130 dan 140 ^{o}C. Berdasarkan penilaian terhadap kualitas produk masing-masing perlakuan maka proses deodorisasi yang direkomendasikan adalah pada suhu 140 ^{o}C selama 1 jam.

Pada tahap ini dilakukan oksidasi NDPO menggunakan panas pada suhu 60, 75, 90 ^{o}C selama 500 jam. Karakterisasi yang dilakukan meliputi asam lemak bebas, bilangan peroksida, dan kadar karoten. Dari analisa komposisi asam lemak akan didapatkan perubahan komposisi asam lemak yang terkandung pada NDPO, terutama asam oleat yang mudah teroksidasi. Dari uji asam lemak bebas dapat diketahui asam lemak yang terputus dari rantai gliserolnya. Dari uji nilai peroksida dapat diketahui perubahan jumlah peroksida yang terbentuk dalam proses inisiasi. Pada oksidasi NDRPO didapatkan bahwa selama proses oksidasi menggunakan panas, β karoten mengalami kerusakan dan semakin tinggi panas yang maka kecepatan kerusakan β karoten tersebut semakin cepat.

B. Aplikasi Minyak Sawit Merah pada Produk Pangan

1. Aplikasi Minyak Sawit Merah pada Cocoa Butter Equivalent

Triasilgliserol POP dan POO merupakan triasilgliserol dominan pada NDPO, masing-masing 27.94% dan 21.95%. Proses fraksinasi menggunakan aseton dengan pengaturan suhu terhadap NDPO dapat meningkatkan konsentrasi POP menjadi 58.13 % dan konsentrasi POO menurun menjadi 9.40% pada produk hPMF. Sementara itu, triasilgliserol POS dan SOS yang merupakan triasilgliserol utama CB/CBEs masing-masing meningkat menjadi 12.59% dan 1.69%. Sedangkan lemak tengkawang, triasilgliserol yang dominan berturut-turut POS, SOS dan POP masing-masing 39.65%, 35.07% dan 10.99% yang merupakan karakteristik triasilgliserol CB/CBEs. Selanjutnya, dengan mengetahui komposisi triasilgliserol masing-masing bahan baku, dapat diformulasikan produk CBEs dengan komposisi triasilgliserol POP, POS dan SOS yang mirip dengan CB.

2. Aplikasi Minyak Sawit Merah pada Minuman Emulsi

Emulsi yang terbentuk memiliki viskositas antara 380 – 2100 cp., bilangan asam 1,340 – 1,401 mg KOH/g, bilangan peroksida 1,133 – 2,853 meq/100g emulsi, total karoten 288,104 – 414,408 ppm, kadar beta karoten 211,852 – 310,870 ppm dan jumlah mikroba 0,101 -3.10^1 koloni mikroba/g emulsi.

Hasil uji oeganoleptik terhadap minuman emulsi memberikan hasil bahwa minuman emulsi yang disukai adalah jenis emulsi A dengan emulsifier sukrosa ester asam lemak HLB 15 yang memiliki rasio minyak:air = 6:4. Emulsi ini memiliki nilai viskositas 1650 cp., total karoten 364,893 ppm, dan kadar beta karoten 222,285 ppm.

Secara umum minuman emulsi dari minyak sawit merah yang telah dikembangkan bersifat non Newtonian, dengan nilai indeks perilaku aliran (n) antara 0.8971 - 1.035, indeks konsistensi (K) 0.06914 – 0.356 Pas^n, tekanan luluh (□o) antara 7,121 – 13.05 Pa. Penerimaan sensori terhadap minuman emulsi minyak sawit merah berkisar antara agak suka – suka.

3. Produksi Mikroenkapsulat Minyak Sawit Merah

Formula proses mikroenkapsulasi optimum dari bahan gelatin-CMC-MD menggunakan komposisi minyak sawit merah sebanyak 47.866%, maltodekstrin sebanyak 34.819%, gelatin sebanyak 13.315%, dan CMC sebanyak 4%. Tingginya retensi β-karoten mikroenkapsulat yang dihasilkan *dryer* modifikasi tipe *box* dan tipe silinder membuktinya adanya kesesuaian alat pengering dengan karakter pengeringan yang dibutuhkan, yaitu bentuk bahan yang akan dikeringkan yang berupa cairan kental, dan suhu proses yang rendah. *Spray dryer* dan *drum dryer* menghasilkan produk dengan retensi β-karoten yang rendah karena suhu proses yang terlalu tinggi. Rekapitulasi keunggulan mutu mikroenkapsulat MSM yang dihasilkan menggunakan beberapa jenis alat pengering. Alat pengering disebut unggul pada parameter mutu tertentu bila diperoleh mutu yang terbaik secara individu, maupun terbaik bersama-sama dengan alat pengering lain yang memiliki data parameter mutu yang tidak berbeda nyata.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini pada proses deodorisasi minyak sawit merah pada suhu 140 ^{o}C selama 1 jam direkomendasikan sebagai kondisi deodorisasi terbaik karena mampu mempertahankan karoten hampir 70% (375,33 mg/kg) serta sekaligus mampu mereduksi odor sampai tingkat intensitas 3,3. Kadar β karoten dalam NRPO masih cukup tinggi, mencapai 336.34±3.20 ppm. β karoten dalam NDRPO terdegradasi mengikuti ordo satu, menggunakan persamaan Arrhenius didapatkan Ea=55581.89 J/mol, dengan persamaan : k=5974.996 exp(-5416.97/T). Proses *blending* antara hPMF dari NDPO dengan lemak tengkawang menghasilkan produk CBE dengan distribusi TAG yang mirip dengan CB. SMP produk CBE hasil blending relatif lebih tinggi dari SMP CB. Proses fraksinasi berhasil mengkonsentrasikan TAG utama CB (POP, POS dan SOS) cukup tinggi dalam produk CBE. Formulasi minuman emulsi yang dipilih meliputi rasio minyak:air = 7:3 untuk emulsifier Tween-80 dan 6:4 untuk emulsifier sukrosa ester asam lemak tipe S-1570, P-1570, dan tipe S ber-HLB 15. Berdasarkan kemampuannya untuk menghasilkan mutu mikroenkapsulat minyak sawit merah (MSM) yang terbaik pada parameter mutu kadar air, rendemen produk mikroenkapsulat MSM, retensi β-karoten, kelarutan di dalam air, warna bubuk dan warna larutan; alat pengering *tray dryer* modifikasi tipe *box* merupakan alat pengering yang paling sesuai untuk mengeringkan mikroenkapsulat MSM.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi untuk pendanaan penelitian melalui Hibah Pasca Sarjana DP2M Dikti tahun 2009.

DAFTAR PUSTAKA

[AOAC]. 1993. Official Method of Analysis. Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.

[AOAC]. 1995. Official Method of Analysis. Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.

[AOAC]. 1995. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Ed ke-5 rev, 1999. Volume ke-2. USA : AOAC Inc.

[AOCS] American Oil Chemists' Society. 2005a. AOCS Official method Ca 2f-93. Determination of Moisture and Volatile Matter in Fats and Oils Modified Method. Di dalam *Official Metods and Recommended Practices of The AOCS Ed ke-5*. AOCS. Champaign.

[AOCS] American Oil Chemists' Society. 2005b. AOCS Official method Cd 19-90. 2-Thiobarbituric acid value. Direct method. Di dalam *Official Metods and Recommended Practices of The AOCS Ed ke-5*. AOCS. Champaign.

[AOCS] American Oil Chemists' Society. 2005c. AOCS Official method Cd 8-53. Peroxide Value Acetic Acid-Chloroform Method. Fatty Acids Composition by Gas Chromatography. Di dalam *Official Metods and Recommended Practices of The AOCS Ed ke-5*. AOCS. Champaign.

[AOCS] American Oil Chemists' Society. 2005d. AOCS Official method Ce 1-62. Fatty Acids Composition by Gas Chromatography. Di dalam *Official Metods and Recommended Practices of The AOCS Ed ke-5*. AOCS. Champaign.

[AOCS]. 2003. *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*. Ed ke-5. USA : AOCS.

[Dirjenbun - Deptan RI] Direktorat Jendral Perkebunan – Departemen Partanian Republik Indonesia. 2008. Butir-Butir Pengarahan Direktur Jenderal Perkebunan pada Lokakarya Kajian Sumber Daya Genetik Kelapa Sawit tanggal 9 Juli 2008. Jakarta. Departemen Pertanian – MAKSI.

[PORIM]. 2005. *PORIM Test Methods*. Kuala Lumpur: Palm Oil Research Institute of Malaysia, Ministry of Primary Industries.

Adawiyah, D.R, Muchtadi T.R. dan Hariyadi P. 2007. Formulasi dan Proses Produksi Mikroenkapsulat Minyak Sawit Merah sebagai *Food Ingredient*. Laporan Akhir Penelitian Riset Unggulan Strategis Nasional. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Basiron Y. 2005. Palm Oil. Di dalam: Shahidi F , editor. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Ed ke-6 Volume ke-2 Edible Oil and Fat Products: Edible Oil*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.

Goei KA. 2008. Prospek Industri Sawit Sebagai Bahan Baku Industri: Tarik Menarik Antara Pangan dan Energi. *Makalah Seminar Tahunan MAKSI-Penelitian dan Pengembangan Untuk Mendukung Agribisnis Kelapa Sawit Nasional*. MAKSI-SEAFAST Center IPB. Bogor.

Goh EM, Timms RE. 1985. Determination of mono- and diglycerides in palm oil, olein and stearin. *J Am Oil Chem Soc* 62: 730–734.

Hutching, J.B. 1999. Food Color and Appearance. Chapman and Hall Food Science Book. Aspen Publisher., Inc., Gaithersburg, Maryland.

Lowry RR dan Tinsley IJ. 1975. Rapid Colorimetric Determination of Free Fatty Acids. *J Am Oil Chem Soc* 53: 470-472.

Mayamol PN, Balachandran C, Samuel T , Sundaresan A, Arumughan C. 2007. Process technology for the production of micronutrient rich red palm olein. *J Amer Oil Chem Soc* 84: 587-596.

Muchtadi TR. 1992. Karakterisasi Komponen Intrinsik Utama Buah Sawit (*Elais guineensis*, Jacq) Dalam Rangka Optimalisasi Proses Ekstraksi Minyak dan Pemanfaatan Provitamin A. [Disertasi]. Bogor: Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

O'Brien RD. 2004. *Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications*. Ed ke-2. Florida: CRC Press. hlm 76-86.

Shahidi F dan Zhong Y. 2005. Lipid Oxidation: Measurement Methods. Di dalam: Shahidi F, editor. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Ed ke-6 Volume ke-2 Edible Oil and Fat Products: Edible Oil*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.

Takahashi A, Shibasaki-Kitakawa N, Yonemoto T. 2003. A rigorous kinetic model for β-carotene oxidation in the presence of an antioxidant, α-tocopherol. *J Am Oil Chem Soc* 80: 1241-1247.

Widarta IWR. 2008. Kendali proses deasidifikasi dalam pemurnian minyak sawit merah skala pilot plant [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Wulandari OV. 2000. Pemanfaatan minyak sawit untuk produksi emulsi kaya beta karoten sebagai suplemen vitamin A [skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Bidang Sumberdaya Alam dan Lingkungan

FRAKSINASI METIL ESTER MINYAK SAWIT MENGGUNAKAN *FRACTIONAL DISTILLATION REACTOR* UNTUK MENGHASILKAN METIL ESTER PALMITAT (C_{16}) DOMINAN

(Palm Methyl Ester Fractionation Using Fractional Distillation Reactor to Produce Dominant Palmitic (C_{16}) Methyl Ester)

Ani Suryani[1, 2)], Siti Mujdalipah[1)], Ari Imam Sutanto[1)], Jaelani[2)]
[1)]Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi LPPM, IPB
[2)]Dep. Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

ABSTRAK

Fraksi metil ester dominan C_{16} dari metil ester minyak sawit diperoleh melalui distilasi fraksional. Reaktor distilasi fraksional dengan sistem curah telah digunakan dalam penelitian ini untuk memisahkan fraksi metil ester dominan C_{16} (metil palmitat) dengan fraksi metil ester dominan $C_{18:1}$ (metil oleat). Proses fraksinasi ini terjadi pada kolom fraksinasi setinggi 3 m. Pemisahan komponen-komponen metil ester dominan ini sangat berguna untuk aplikasi tertentu dalam industri oleokimia. Metil palmitat merupakan senyawa terbaik sebagai bahan baku untuk produksi surfaktan MES (Metil Ester Sulfonat). Produk ini dapat digunakan sebagai bahan aktif pada produk pencuci dan pembersih karena mempunyai daya deterjensi yang terbaik. Selain itu fraksi sisanya berupa metil ester dominan $C_{18:1}$ yang mempunyai ikatan rangkap dan mempunyai bobot molekul yang lebih tinggi. Komponen/fraksi metil oleat merupakan bahan bakar yang baik pengganti solar. Metil oleat ini mempunyai angka setana yang lebih tinggi dan mempunyai titik cair dan titik kabut yang lebih rendah. Bahan bakar ini cocok untuk diterapkan di daerah dingin. Proses fraksinasi yang dilakukan dalam penelitian ini melibatkan dua faktor yaitu suhu fraksinasi (225,230,235 ^oC) dan lama fraksinasi (10 dan 12 jam). Hasil terbaik dari kondisi proses distilasi fraksional ini mampu menghasilkan fraksi metil palmitat dominan dengan tingkat kemurnian 80.17% pada suhu 235 ^oC dan lama fraksinasi 12 jam. Sisa fraksinansi mengandung metil oleat dominan dengan tingkat kemurnian 61.80% pada suhu 235^oC dan lama fraksinasi 10 jam.

Kata kunci : Fraksinasi, Reaktor distilasi fraksional, Minyak sawit, Metil ester C_{16} dominan (metil palmitat), Metil ester $C_{18:1}$ dominan (metil oleat).

ABSTRACT

C_{16} dominant methyl ester fractionated from palm oil methyl ester by using distilastion (fractionation methode) was obtained. A fractional distillation reactor with batch system to obtain palmitic methyl ester (C_{16}) and oleic methyl ester ($C_{18:1}$) dominant used in this research. Fractionation conducted on packing column reactor of 3 m. Separation of methyl ester component is very useful for certain applications in oleochemical industry. Methyl ester of palmitic is the best component as raw material to produce surfactant MES (methyl ester sulfonate). This product is applicable to washing and cleaning agent because it has a good detergency power. Beside that, the residual products of fractination can produce methyl ester with double bond carbon chain and have higher molecular weight. This component is composed of dominant oleic methyl ester as good material for biofuel. Oleic methyl ester has a higher cetane number and low melting point. The biofuel is suitable to be applied in the country with four seasons. Fractionation process is done by using two experimental factors i.e temperature process (225, 230, 235 ^oC) and processing time (10 and 12 hours). The best result of fractional distillation condition on this reaserch

capable of producing 80.17% palmitic methyl ester at 235^{o}C and 12 hours processing time. The residual product of fractionation contain of 61.80% oleic methyl ester ($C_{18:1}$) at 235^{o}C and 10 hours.

Keywords : Fractionation , fractional distillation reactor, palm oil, C_{16} dominant methyl ester, $C_{18:1}$ dominant methyl ester F.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam pengembangan industri hilir dari kelapa sawit. Berdasarkan publikasi data statistik Ditjen Perkebunan, luas areal dan produksi kelapa sawit adalah seluas 8,04 juta ha dengan produksi 19,76 juta ton CPO (*crude palm oil*) pada tahun 2010 yang tersebar di seluruh provinsi di Indonesia (Ditjen Perkebunan, 2011). Sebagian besar dari jumlah total produksi kelapa sawit ini adalah untuk kebutuhan ekspor dan sebagian lagi diolah menjadi produk turunan.

Pengembangan industri hilir kelapa sawit di Indonesia masih belum maksimal. Hal ini terlihat dari pemanfaatan CPO hanya sebagai produk pangan dan non pangan berupa produk oleokimia dasar. Sementara itu produk oleokimia turunan belum banyak dikembangkan di dalam negeri. Hingga saat ini baru terdapat 23 jenis produk turunan CPO diproduksi di Indonesia, sementara Malaysia telah memproduksi sekitar 50 jenis produk turunan CPO. Salah satu produk turunan CPO yang memiliki potensi baik untuk dikembangkan adalah biodiesel (metil ester). Kementerian Riset dan Teknologi memperkirakan pemenuhan bahan baku biodiesel dari minyak sawit akan meningkat setiap tahunnya. Namun demikian, biodiesel minyak sawit masih memiliki kelemahan secara teknis. Biodiesel minyak sawit tidak dapat digunakan pada kondisi suhu rendah karena memiliki *cloud point* tinggi yaitu 8^{o}C, berbeda dengan biodiesel minyak kedelai dan biodiesel dari minyak bunga matahari dengan nilai *cloud point* 2–3 ^{o}C.

Knothe (2008) menyebutkan bahwa biodiesel kaya akan kandungan metil ester oleat ($C_{18:1}$) sedemikian hingga karakteristiknya paling baik untuk diaplikasikan sebagai bahan bakar. Lebih jauh, Knothe menyebutkan bahwa kandungan asam lemak palmitat (C_{16}) minyak sawit cukup tinggi, sedikit lebih rendah dari kandungan asam lemak C_{18}. Biodiesel dengan kandungan metil ester

dengan ikatan jenuh tinggi memiliki angka setana lebih tinggi namun memiliki karakteristik tidak baik pada suhu rendah, sementara itu biodiesel dengan kandungan metil ester dari asam lemak tidak jenuh, terutama asam lemak dengan ikatan rangkap > 4, memiliki *melting point* rendah namun memiliki karakteristik angka setana dan stabilitas oksidasi rendah.

Metil ester C_{16} merupakan bahan yang sangat baik untuk dijadikan surfaktan. Melalui proses sulfonasi metil ester tersebut dapat dibuat menjadi metil ester sulfonat (MES). Metil ester C_{16} memiliki sifat deterjensi (daya cuci) yang lebih baik bila dibandingkan surfaktan lainnya yang sejenis. Menurut Matheson (1996), Surfaktan MES memperlihatkan karakteristik dispersi yang baik, sifat detergensi yang baik terutama pada air dengan tingkat kesadahan yang tinggi (*hard water*) dan tidak adanya fosfat, ester asam lemak C_{16} memberikan tingkat detergensi terbaik, serta bersifat mudah didegradasi (*good biodegradability*).

Selain sebagai bahan pencuci dan pembersih, pemanfaatan surfaktan di industri sangat luas, misalnya sebagai bahan pembusaan dan *emulsifier*, digunakan di industri kosmetik, farmasi dan untuk bahan sanitasi di industri pangan (Hui, 1996)

Salah satu pendekatan yang dapat diaplikasikan untuk memperbaiki karakteristik biodiesel sawit pada suhu rendah adalah melalui modifikasi komposisi asam lemak dalam biodiesel antara lain melalui fraksinasi metil ester (ME) minyak sawit. Dengan aplikasi teknologi tersebut maka dapat meningkatkan nilai jual biodiesel minyak sawit Indonesia di pasar Internasional, terutama di pasar Eropa dan Amerika. Disamping itu, hasil proses fraksinasi berupa C_{16} dapat diaplikasikan sebagai bahan baku surfaktan MES. Fraksi – fraksi metil ester lain seperti C_{12}, dan C_{14} hasil samping dari fraksinasi ME minyak sawit dapat diolah menjadi produk turunan lainnya ataupun dijual. Oleh karenanya, fraksinasi diharapkan mampu memberikan nilai tambah terhadap biodiesel minyak sawit melalui pemisahan komponen metil ester. Selain itu juga, pemanfaatan biodiesel minyak sawit menjadi surfaktan dapat akan akan memberikan kontribusi pada ketahanan ekonomi Indonesia di masa akan datang melalui pendirian industri-industri hilir pemanfaatan kelapa sawit menjadi produk oleokimia dasar dan oleokimia turunan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian adalah minyak sawit yang telah mengalami proses pemurnian menjadi olein, metanol, KOH, dan bahan untuk analisis fisiko kimia minyak dan metil ester.

Metode

Analisis Sifat Fisiko Kimia Minyak Sawit

Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan data awal bahan yang digunakan, sehingga dapat diketahui perubahan pada parameter yang diamati setelah mendapat perlakuan. Bahan baku berupa minyak sawit dianalisis karakteristik secara fisik dan kimia. Karakterisasi minyak sawit berdasarkan SNI 01-2901-2006, meliputi bilangan asam, bilangan iod, bilangan penyabunan, densitas minyak dan analisis komposisi melalui uji gas kromatografi (GC).

Pembuatan Metil Ester

Proses ini merupakan proses pembuatan ester. Campuran trigliserida di dalam minyak diubah menjadi senyawa ester. Metil ester minyak sawit yang dihasilkan kemudian dimurnikan. Pemurnian metil ester yang dilakukan adalah separasi gliserol, pencucian menggunakan air, evaporasi air dan netralisasi. Proses tersebut dapat menghilangkan pengotor yang berupa sabun, gliserol, dan air dalam metil ester. Parameter uji produk metil ester yang dihasilkan meliputi bilangan asam, bilangan iod, bilangan penyabunan, densitas minyak dan analisis komposisi melalui uji metil ester menggunakan gas kromatografi .

Proses Fraksinasi

Proses fraksinasi dilakukan dengan tujuan untuk memisahkan ester campuran menjadi fraksi-fraksi pembentuknya. Kondisi proses fraksinasi dibedakan dalam tiga level suhu yaitu suhu 225, 230 dan 235^{o}C. Sementara itu faktor lain yang digunakan dalam proses fraksinasi adalah lama waktu proses 10 dan 12 jam. Parameter uji kinerja fraksinasi ini dapat diketahui melalui analisis sifat fisiko kimia dan GC terhadap komposisi metil ester fraksinasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Sifat Fisiko Kimia Minyak Sawit

Hasil analisis sifat fisiko kimia yang telah dilakukan diketahui bahwa bahan baku yang digunakan memiliki bilangan asam 0,49 mg KOH/g, bilangan iod 54,97 mg Iod/g, bilangan penyabunan 209,87 mg KOH/g, densitas minyak 0, 91 g/ml, dan komposisi asam lemak berupa asam miristat ($C_{14:0}$) 0,71%, asam palmitat ($C_{16:0}$) 30,8%, asam stearat ($C_{18:0}$) 3,45%, asam oleat ($C_{18:1}$) 31,62%, asam linoleat ($C_{18:2}$) 12,97%, asam linolenat ($C_{18:3}$) 0,45%, dan asam arachidat ($C_{20:0}$) 0,25%. Kadar asam lemak C_{16} CPO ini sangat tinggi apabila dibandingkan dengan PKO (*palm kernel oil*) yang berkisar antara 7–9% (Swern, 1979).

Metil Ester Minyak Sawit

Metil ester diproduksi melalui proses tranesterifikasi pada alat produksi biodiesel skala 100 liter. Molekul trigliserida minyak pada dasarnya merupakan triester dari gliserol dan tiga asam lemak. Transformasi kimia lemak menjadi biodiesel melibatkan transesterifikasi spesies gliserida dengan alkohol membentuk alkil ester (Lotero *et al., 2004;* Meher *et al.,* 2004). Produksi metil ester dilakukan sebanyak 7 kali dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 1. Data Produksi Metil Ester

No	Bahan Baku			Produk
	Olein (liter)	Metanol (liter)	KOH (kg)	Metil Ester (liter)
1	120	19	1.2	61
2	121	19.15	1.21	107
3	120	19	1.2	107
4	120	19	1.2	101
5	120	19	1.2	107
6	120	19	1.2	107
7	120	19	1.2	103
Jumlah				693

Berdasarkan hasil analisis sifat fisiko kimia yang dilakukan diketahui bahwa metil ester yang dihasilkan memiliki bilangan asam 0,27 mg KOH/g, bilangan iod 57,14 mg Iod/g, bilangan penyabunan 96,90 mg KOH/g, densitas 0,87 g/ml, dan komposisi *fatty acid methyl ester* berupa metil ester miristat ($C_{14:0}$) 0,62%, metil ester palmitat ($C_{16:0}$) 29,64%, metil ester stearat ($C_{18:0}$) 3,2%, metil ester oleat ($C_{18:1}$) 29,89%, metil ester linoleat ($C_{18:2}$) 11,95%, metil ester linolenat ($C_{18:3}$)

0,24%, dan metil ester arachidat ($C_{20:0}$) 0,41%. Komposisi metil ester dominan biodiesel berdasarkan uji menggunkan GC adalah metil ester palmitat dan metil ester oleat. Teknologi fraksinasi sangat dibutuhkan dalam memurnikan kedua komponen tersebut sehingga masing-masing produk fraksinasi memiliki kemurnian C_{16} dan C_{18} yang tinggi.

Hasil Fraksinasi Metil Ester CPO

Proses fraksinasi dilakukan pada *fractional distillation system*. Variabel kondisi proses fraksinasi adalah suhu dan lama proses fraksinasi. Satu satuan percobaan farksinasi adalah 50 liter dan dilakukan dua kali ulangan. Hasil proses fraksinasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Proses Fraksinasi

Kondisi Proses		Hasil Fraksinasi (liter)	Sisa Fraksinasi (liter)
Suhu (^oC)	Waktu (jam)		
225	10	17.96	31.16
225	12	20.75	28.35
230	10	18.42	30.45
230	12	23.35	24.75
235	10	20.52	28.75
235	12	24.20	24.05

Data proses fraksinasi dengan perbedaan suhu dan lama waktu produksi menunjukan bahwa semakain tinggi suhu yang digunakan dan waktu semakin lama mampu menghasilkan hasil fraksinasi yang lebih banyak. Kondisi ini akan mengakibatkan semakin sedikit biodiesel yang tersisa dalam reaktor sehingga sisa fraksinasi semakin sedikit. Gambar metil ester awal, hasil proses fraksinasi, dan sisa fraksinasi dapat dilihat pada Gambar 1.

(a) (b) (c)

Gambar 1. Metil ester.
(a) metil ester awal, (b) hasil fraksinasi, (b) sisa fraksinasi

Penentuan sifat fisiko kimia menjadi parameter penting untuk mengetahui perubahan sifat metil ester hasil dan sisa fraksinasi. Hasil uji bilangan iod menunjukan bahwa terjadi perubahan yang cukup signifikan. Nilai bilanagn iod hasil fraksinasi secara umum lebih rendah dibandingkan dengan kondisi metil ester awal. Kondisi ini berbeda dengan nilai bilangan iod sisa fraksinasi yang secara signifikan nilainya lebih tinggi. Bilangan iod menunjukan banyaknya ikatan rangkap atau ikatan tidak jenuh. Metil ester dengan ikatan tidak jenuh mampu menyerap sejumlah iod dan membentuk senyawa jenuh. Berdasarkan data bilangan iod ini, dapat dijelaskan bawah proses fraksinasi mampu memisahkan antara metil ester jenuh dan tidak jenuh. Hasil fraksinasi memiliki metil ester dengan ikatan rangkap lebih sedikit dibandingkan sisa fraksinasi. Secara jelas, data bilangan iod dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Bilangan Iod

Sampel	Metil Ester	
	Hasil Fraksinasi (mg Iod/g)	Sisa Fraksinasi (mg Iod/g)
225-10	34.90	148.52
225-12	40.42	155.76
230-10	33.55	152.15
230-12	46.53	159.40
235-10	39.27	156.83
235-12	53.23	155.89

Pengujian bilangan penyabunan menunjukkan jumlah alkali yang dibutuhkan dalam menyabunkan senyawa metil ester. Besarnya bilangan penyabunan tergantung dari berat molekul. Metil ester yang mempunyai bobot molekul rendah akan mempunyai angka penyabunan yang tinggi daripada metil ester yang mempunyai berat molekul tinggi. Data bilangan penyabunan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Bilangan Penyabunan

Sampel	Metil Ester	
	Hasil Fraksinasi (mg KOH/g)	Sisa Fraksinasi (mg KOH/g)
225-10	191.61	196.85
225-12	190.95	194.21
230-10	199.43	185.18
230-12	188.52	207.09
235-10	191.66	188.08
235-12	184.33	198.06

Hasil uji densitas sangat berkorelasi dengan viskositas bahan yang diuji. Semakin cair bahan yang diuji maka nilai viskositasnya semakin kecil. Terdapat perubahan yang signifikan pada alur proses penelitian ini dilihat dari parameter densitas sejak bahan minyak diproses menjadi metil ester dan difraksinasi. Densitas minyak lebih besar dibandingkan biodiesel yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan perubahan fisik minyak dalam proses transesterifikasi minyak. Produk hasil fraksinasi memiliki nilai densitas lebih kecil dibandingkan dengan densitas awal minyak dan metil ester awal. Kondisi ini disebabkan karena hasil fraksinasi merupakan senyawa dengan titik didih rendah dan bobot molekul rendah sehingga densitasnya kecil. Sedangkan sisa fraksinasi merupakan komponen metil ester dengan bobot molekul lebih tinggi. Hasil uji densitas metil ester akibat proses fraksinasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Densitas

Sampel	Metil Ester	
	Hasil Fraksinasi (g/ml)	Sisa Fraksinasi (g/ml)
225-10	0.8640	0.8784
225-12	0.8637	0.8807
230-10	0.8619	0.8786
230-12	0.8645	0.8820
235-10	0.8618	0.8785
235-12	0.8637	0.8835

Parameter penting dalam proses fraksinasi adalah analisis kadar metil ester menggunakan gas kromatografi. Hasil uji menggunakan GC terhadap semua satuan percobaan menghasilkan produk dengan kandungan metil ester palmitat dominan. Pemisahaan metil ester palmitat terbaik terjadi pada kondisi suhu 235^{o}C dan waktu proses 12 jam dengan nilai kemurnian 80,17%. Kandungan metil ester palmitat dominan ini, sangat baik apabila diaplikasikan sebagai bahan baku untuk pembuatan surfaktan MES khususnya untuk produk pencuci dan pembersih (*washing and cleaning agent*). Kondisi ini didukung oleh Watkins (2001) yang menyatakan bahwa pemanfaatan metil ester palmitat (C_{16}) sebagai bahan baku surfaktan akan memberikan sifat deterjensi paling baik, kemudian diikuti oleh metil ester miristat (C_{14}) dan metil ester oleat (C_{18}).

Flider (2001) juga menyebutkan bahwa jutaan ton surfaktan digunakan setiap tahunnya pada beragam aplikasi yang berbeda. Walaupun pemakaian terbesar

surfaktan adalah untuk aplikasi pencucian dan pembersihan (*washing and cleaning applications*), namun surfaktan banyak pula digunakan untuk produk pangan, pertambangan, cat dan pelapis, kertas, tekstil, serta produk kosmetika dan produk perawatan diri (*personal care products*). Data hasil analisis komposisi metil ester menggunakan GC terhadap produk hasil fraksinasi dapat dilihat di Tabel 6.

Tabel 6. Analisis Komposisi ME Hasil Fraksinasi

Sampel	Kadar Komponen Metil Ester % (b/v)				
	$C_{14:0}$	$C_{16:0}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$ Cis	$C_{18:2}$ Cis
225-10	2.11	63.13	0.93	7.02	2.87
225-12	2.06	74.26	1.02	12.04	4.35
230-10	1.60	68.10	2.09	7.25	4.44
230-12	1.56	74.11	1.94	15.29	6.04
235-10	2.70	77.03	0.84	6.50	3.84
235-12	1.80	80.17	1.45	11.42	4.99

Hasil uji GC terhadap sisa fraksinasi menunjukan kandungan metil ester oleat dominan. Kondisi terbaik dengan kandungan oleat dominan adalah perlakuan suhu 235^{o}C dan waktu proses 10 jam dengan jumlah nilai kemurnian 61,80%. Tingginya komponen metil ester berikatan rangkap ini sangat baik untuk aplikasi sebagai bahan bakar. National Renewable Energy Laboratory in Golden, Colorado menemukan bahwa bahan baku dengan kandungan asam lemak jenuh tinggi ($C_{14:0}$, $C_{16:0}$, $C_{18:0}$) meningkatkan *cloud point*, c*etane number*, menurunkan emisi NOx, dan memperbaiki stabilitas metil ester, sementara itu bahan baku dengan kandungan asam lemak tak jenuh tinggi ($C_{18:1}$, $C_{18:2}$, $C_{18:3}$) menurunkan *cloud point*, *cetane number*, meningkatkan NOx, dan menurunkan stabilitas (Gerpen, 2004). Tabel 7 menunjukkan hasil analisis komposisi produk sisa fraksinasi menggunakan GC.

Tabel 7. Analisis Komposisi ME Sisa Fraksinasi

Sampel	Kadar Komponen Metil Ester % (b/v)			
	$C_{16:0}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$ Cis	$C_{18:2}$ Cis
225-10	12.05	8.88	53.63	19.09
225-12	6.47	10.41	57.56	21.48
230-10	8.31	8.29	58.51	19.70
230-12	5.23	13.26	56.36	22.32
235-10	7.17	9.16	61.80	20.60
235-12	3.70	10.48	57.70	19.93

KESIMPULAN

Proses fraksinasi biodiesel (metil ester) menggunakan *fractional distillation reactor* mampu menghasilkan metil eter palmitat dominan dengan kemurnian 80,17% pada kondisi suhu 235^{o}C dan waktu proses 12 jam. Semetara itu produk sisa fraksinasi memiliki kandungan metil ester oleat dominan dengan kemurnian sebesar 61,80% pada suhu 230^{o}C dan waktu proses 10 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimah kasih disampaikan kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan Nasional yang telah memberikan dana hibah penelitian kompetitif khususnya Hibah Penelitian Strategis Sesuai Prioritas Nasional, sehingga panelitian ini dapat dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

Ditjen Perkebunan. 2011. *Ekspor Produk Kelapa Sawit.* http://ditjenbun.deptan.go.id/index.php/component/content/article/36-news/203-ekspor-produk-kelapa-sawit-terus-naik.html (8 Februari 2011).

Flider, F.J. 2001. *Commercial Considerations and Markets for Naturally Derived Biodegradable Surfactants.* Inform 12 (12) : 1161 – 1164.

Gerpen, J.V., B.Shanks, R.Pruszko, D.Clements and G.Knothe. 2004. *Biodiesel Production Technology*. National Renewable Energy Laboratory. Colorado.106 p.

Hui, Y.H. 1996. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. 5th Edition. Volume 5. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Knothe, G. 2008. "*Designer" Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties.* Energy & Fuels 2008, *22,* 1358–1364.

Lotero, E., Y.Liu, D.E. Lopez, K. Suwannakarn, D.A. Bruce and J.G. Goodwin Jr., 2004. *Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis.* http://scienzechimiche.unipr.it/didattica/att/5dd4.5996.file.pdf (12 February 2007).

Matheson, K. L. 1996. *Surfactant Raw Materials : Classification, Synthesis, and Uses In Soap and Detergents: A Theoretical and Practical Review*. Spitz, L. (Ed). AOCS Press, Champaign, Illinois.

Meher, L.C., Dharmagadda, V.S.S., Naik, S.N. 2005. *Optimization of Alkali Catalyzed Transesterification of Pongamia pinnata Oil for Production of Biodiesel*.

Swern, D. 1979. Bailey's *Industrial Oil and Fat Products*. Vol. I 4th Edition. John Willey and Son, New York.

Watkins, C. 2001. *All Eyes are on Texas*. Inform 12 : 1152-1159.

REHABILITASI LAHAN KRITIS DI SEKITAR TAMBANG EMAS DI GUNUNG PONGKOR MELALUI KEMITRAAAN DENGAN MASYARAKAT DI KECAMATAN NANGGUNG KABUPATEN BOGOR

(Rehabilitation of Degraded Land Surrounding Gold-Mining Pongkor Through Interrelationship with Community of Nanggung District, Bogor Regency)

Asdar Iswati[1)], Dyah Retno Panuju[1)], Enni Dwi Wahjunie[1)], Etty Kusumastuti[2)]

[1)]Dep. Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB
[2)]Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta

ABSTRAK

Permasalahan yang dihadapi petani di wilayah sekitar Kawasan Pertambangan Emas Gunung Pongkor Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor adalah: produktivitas tanah rendah, erosi dan sedimentasi, kerusakan ekosistem sehingga kelestariannya terganggu. Disamping itu juga konsentrasi Hg di air dan tanah sawah di atas ambang batas maksimum sehingga berbahaya bagi manusia dan tidak mantapnya kelembagaan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemberdayaan masyarakat di sekitar kawasan pertambangan emas di Gunung Pongkor Bogor, dalam upaya meningkatkan produktivitas tanah dan merehabilitasi lahan kritis tercemar Hg, serta mencegah terjadinya erosi dan sedimentasi. Pengabdian kepada masyarakat Program IbM dilaksanakan di Desa Hambaro Kecamatan Nanggung bermitra dengan kelompok tani (POKTAN) Cempaka 1. Kegiatan yang dilakukan meliputi : (1) pembuatan demplot pemberian bahan organik pada tanah sawah, (2) pembuatan demplot penyediaan bahan organik sumberdaya lokal, dan (3) pelatihan. Materi yang diberikan di dalam pelatihan adalah kesuburan tanah dan rehabilitasi lahan kritis, konservasi tanah dan air, dan kelembagaan. Demplot penyediaan bahan organik sumberdaya lokal menanam tanaman penutup tanah *Calopogonium muconoides (Cm)* dan *Centrocema pubescens (Cp)*, sehingga selain menghasilkan bahan organik juga dapat mencegah dan mengurangi terjadinya erosi tanah. Tanaman penutup tanah tersebut ditanam di lahan yang berlereng dan terbuka.

Hasil kegiatan demplot penambahan bahan organik pada tanah sawah menunjukkan bahwa nilai tengah produktivitas padi sawah pada demplot Program IbM lebih tinggi dibandingkan dengan produktivitas padi sawah pada periode sebelum Program IbM. Produktivitas Program IbM memiliki tingkat kepastian produktivitas yang lebih besar atau ketidakpastian (*uncertainty*) yang lebih rendah dibandingkan sebelum dilaksanakan Program IbM. Uji T menunjukkan bahwa rataan produktivitas di lahan yang diberi bahan organik berbeda dengan produktivitas lahan padi sawah tanpa bahan organik. Walaupun uji tidak nyata pada tingkat kepercayaan 95% namun dengan plot percobaan yang memiliki ulangan potensi perbedaan pemberian bahan organik diduga akan berperan nyata. Dari uji diketahui tingkat kesalahan sebesar 17%, artinya pada tingkat kepercayaan 83% produktivitas pada lahan yang diberi aplikasi bahan organik berbeda dengan lahan tanpa aplikasi bahan organik.

Demplot tanaman sumber bahan organik lokal memberikan hasil yang menunjukkan bahwa dengan menanam *Calopogonium muconoides (Cm)* dan *Centrocema pubescens (Cp)*dalam waktu tiga bulan memberikan produktivitas bahan organik sumberdaya lokal 15,2 ton/ha, sehinga petani dapat menyediakan bahan organik untuk kebutuhan tanaman padi dari lahan berlereng yang dimiliknya.

Kegiatan pelatihan meningkatkan pengetahuan petani dari rendah ke sedang tentang kesuburanan tanah, manfaat dan kandungan unsur hara suatu jenis pupuk, manfaat pupuk organik, kehilangan pupuk, lahan kritis, dan manfaat tanaman penutup tanah.

Kata kunci : Rehabilitasi lahan, lahan kritis, produktivitas.

ABSTRACT

Problems of farmer in gold-mining area at Pongkor, Nanggung district, Bogor Regency is low productivity, erosion, sedimentation, degraded ecosystem which then affecting their sustainability. The other problems are highly concentrated Hg in water and paddy field, and unstable institution of their society. Therefore, empowerment in the area is required to improve agricultural productivity, to restore degraded land due to Hg-pollution, and to watch over erosion and sedimentation. IbM program was serviced in Hambaro village, Nanggung district. It was conducted in a partnership with POKTAN Cempaka-1. The activities were including (1) demo-plot of organic matter application on paddy field, (2) demo-plot of local organic-mater supplying, and (3) train the farmers. Set of courses on the training was soil fertility, rehabilitation of degraded land, soil and water conservation, and institution. Demo-plot was carried out on farmers' field. Demo-plot of local organic matter supplying was planting cover crops such as Calopogonium muconoides (Cm) dan Centrocema pubescens (Cp). It was carried out to produce organic matter and to prevent and decrease rate of soil erosion. The cover crops were planted in hilly and open area.

It was found that demo – plot of organic matter application improved paddy field productivity. The program was also increasing certainty of paddy-field productivity. T-test showed average productivity of land applying organic matter was better than non-applying field. Despite the fact it was not significant (in 95% CI) the productivity is potentially enhanced by organic matter application.

Demo plot of cover crop application showed that in 3 months Calopogonium muconoides (Cm) and Centrocema pubescens (Cp) produced 15,2 ton/ha organic matters. Farmers can self-provide organic matter in their hilly area.

The training improved farmers' knowledge from low level to medium level especially on soil fertility, the benefit and elements of fertilizers, the benefit of organic matter application, fertilizer loss, degraded land and cover crop benefits.

Keywords : Land rehabilitation, degraded land, productivity.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada tahun 1990 penambangan emas di Gunung Pongkor dibuka oleh PT. Aneka Tambang (Antam) di Desa Bantar Karet, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor. Kawasan konsesi penambangan emas ini seluas 4058 hektar. Seiring dengan penambangan legal oleh negara, juga diikuti penambangan ilegal oleh masyarakat baik lokal maupun dari luar . Penambang ilegal dikenal dengan PETI (Penambang Emas Tanpa Izin). Lokasi penambangan liar berada di sekitar lokasi areal penambangan resmi PT. Aneka Tambang, bahkan ada yang terletak di dalam wilayah konsesi perusahaan tersebut.

Dampak negatif yang ditimbulkan oleh PETI adalah kerusakan hutan, erosi dan tanah longsor, pencemaran air dan tanah oleh Hg, serta rusaknya nilai-

nilai kehidupan sosial budaya masyarakat setempat. Dampak positif yang ditimbulkan PETI hanya meningkatkan pendapatan PETI. Sedangkan dampak positif yang ditimbulkan penambangan emas PT. Antam adalah menambah pendapatan negara, terbukanya lapangan pekerjaan, meningkatnya sarana dan prasarana desa, meningkatnya fasilitas umum (pelayanan kesehatan, sekolah), pembinaan usaha, pemberian modal, dan bantuan pemasaran hasil-hasil produksi rakyat. Dampak negatif penambangan emas PT. Antam adalah mengganggu kelestarian ekosistem dan terjadinya polusi udara.

Dari 17 desa yang berbatasan dengan Taman Nasional Gunung Halimun (TNGH), enam desa diantaranya terletak di sekitar lokasi penambangan emas Gunung Pongkor, yaitu Desa Bantar Karet, Cisarua, Kiarasari, Cihiris, Jangkar, dan Malasari. Desa-desa inilah yang kemungkinan akan terkena dampak pertamakali dari kegiatan penambangan emas di Gunung Pongkor, baik yang dilakukan secara legal maupun ilegal. Selain itu, desa Curugbitung, Nanggung, Pangkaljaya, Parakanmuncang, Hambaro, Kalong Liud juga berpotensi terkena dampak negatif penambangan ini.

Dampak negatif yang paling besar akibat penambangan emas di gunung Pongkor adalah tercemarnya air sungai Cikaniki dan Sungai Cisarua yang bermuara ke sungai Cisadane oleh air raksa/ merkuri (Hg). Pencemaran ini terutama disebabkan oleh penambangan emas tanpa izin (Syawal dan Yustiawati, 2003 dalam Mulyadi, Pramono, dan Ansori, 2007). Menurut Mulyadi, Pramono, dan Ansori, (2007), lahan pertanian di sekitar Gunung Pongkor berada pada jalur sungai Cikaniki dan anak-anak sungai di atasnya.

Hasil penelitian Tim Peneliti Tanah dan Agroklimat (2000), menunjukkan bahwa tanah sawah yang berada pada jalur aliran sungai Cikaniki dan sungai Cisarua telah tercemar limbah pertambangan emas yang mengandung Hg dengan konsentrasi cukup tinggi antara 1,27 – 1,63 ppm.

Desa Curugbitung Kecamatan Nanggung terletak diantara desa Cisarua dan Desa Pangkaljaya. Rata-rata konsentrasi Hg pada tanah sawah di Desa Cisarua 0,094 ppm dan di Desa Pangkaljaya 0,069 ppm. Rata-rata konsentrasi Hg di air sawah di Desa Cisarua 0,0053 ppm dan di Desa Pangkaljaya 0,006 ppm. Menurut PP. No. 20 tahun 1990, kadar maksimum Hg untuk tanah pertanian 0,005

ppm, jadi konsentrasi Hg pada air sawah di di Desa Cisarua dan di Desa Pangkaljaya di atas nilai ambang batas maksimum, sehingga berbahaya terhadap keamanan pangan yang diproduksi dari area persawahan di wilayah tersebut.

Untuk mengatasi kondisi tersebut di atas, maka dilakukan pemberdayaan masyarakat di sekitar kawasan pertambangan emas di Gunung Pongkor Bogor, khususnya di Desa Hambaro Kecamatan Nanggung dalam upaya merehabilitasi lahan kritis. Untuk mewujudkan upaya ini sangat dibutuhkan partisipasi kelompok tani (POKTAN) yang ada di Desa Hambaro sebagai mitra yaitu POKTAN Cempaka yang berperan untuk membantu menyampaikan transfer teknologi pengelolaan lahan lahan sawah yang tercemar Hg dan penyediaan bahan organik sumberdaya lokal. Pengelolaan lahan sawah yang tercemar Hg akan dilakukan dengan pemberian bahan organik dan menyediakan bahan organik sumberdaya lokal. Di samping itu untuk memantapkan dan keberlanjutan kelembagaan yang sudah ada, maka dalam program ini juga dilakukan pembinaan kelembagaan.

Permasalahan Mitra

Permasalahan POKTAN Cempaka Desa Hambaro yang terletak di Kawasan Pertambangan Emas Gunung Pongkor Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor adalah: (1) Produktivitas tanah rendah,(2) Erosi dan sedimentasi, (3) Kerusakan ekosistem sehingga kelestariannya terganggu, (4) Konsentrasi Hg di air dan tanah sawah di atas ambang batas maksimum sehingga berbahaya bagi manusia, dan (5) Tidak mantapnya kelembagaan (POKTAN)

Tujuan Kegiatan

Kegiatan ini bertujuan untuk membina petani di Desa Hambaro yang terletak di Kawasan Pertambangan Emas Gunung Pongkor Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor dalam hal:

1. Meningkatkan produksi padi sawah dan mengatasi terserapnya Hg oleh tanaman,
2. Menyediakan bahan organik sumberdaya lokal sekaligus mengatasi terjadinya erosi dan sedimentasi, dan

3. Memperkuat kelembagaan kelompok tani (POKTAN), sehingga kelembagaan tersebut lestari.

METODE PENELITIAN

Kerangka Pemecahan Masalah

Dampak negatif dari penambangan emas liar di Gunung Pongkor Kecamatan Nanggung adalah produktivitas tanah rendah, konsentrasi Hg di air dan tanah sawah di atas ambang batas maksimum (> 0,005 ppm) sehingga berbahaya bagi manusia, erosi ,sedimentasi, dan kerusakan ekosistem sehingga kelestariannya terganggu,dan lemahnya kelembagaan tani (POKTAN). Oleh karena itu, lahan kritis yang digunakan sebagai kegiatan pengabdian pada masyarakat terdiri dari : (1) tanah sawah di sekitar Gunung Pongkor yang diperkirakan terkena dampak pencemaran Hg akibat penambangan emas liar dan (2) lahan yang berpotensi tererosi, jika dibiarkan terbuka.

Untuk mengatasi penurunan produktivitas tanah dan mencegah terserapnya Hg oleh tanaman terutama padi tanah sawah dilakukan : (1) pemberian bahan organik pada tanah sawah; (2) penyediaan bahan organik sumberdaya lokal; dan (3) memantapkan kelembagaan yang sudah ada. Pemberian bahan organik pada tanah sawah tujuannya untuk mengimobilkan Hg di dalam tanah, karena asam fulvat dan asam humat yang dikandung bahan organik dapat mengikat Hg sehingga tidak larut dan tersedia bagi tumbuhan. Dengan demikian Hg tidak diserap oleh tanaman padi, sehingga produksi padi tidak membahayakan bagi manusia.Selain itu, bahan organik juga memperbaiki sifat fisik tanah, ketersediaan unsur hara tanaman, dan memperbaiki sifat biologi tanah. Dengan diperbaikinya sifat fisika, sifat kimia, dan sifat biologi tanah, maka pertumbuhan dan produksi tanaman akan meningkat.

Penyediaan bahan organik sumberdaya lokal tujuannya agar bahan organik dapat tersedia dengan cepat dan tidak membutuhkan biaya pengangkutan. Penyediaan bahan organik sumberdaya lokal ini dengan cara menanam tanaman penutup tanah pada lahan yang berpotensi tererosi, sehingga selain mendapatkan bahan organik juga mencegah terjadinya erosi dan sedimentasi.

Memperkuat kelembagaan yang sudah ada sehingga kelembagaan tersebut aktif kembali dan lebih aktif. Dengan demikian petani akan menjalankan usahataninya dengan baik. Kerangka pemecahan masalah ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kerangka Pemecahan Masalah

Situasi Sekarang	Perlakuan	Situasi yang Diharapkan
1. Produktivitas tanah rendah 2. Konsentrasi Hg di air dan tanah sawah di atas ambang batas maksimum (> 0,005 ppm) 3. Terjadi erosi, sedimentasi, dan kerusakan ekosistem 4. Kelembagaan tani (POKTAN) lemah	1. Penambahan bahan organik pada tanah sawah 2. Penanaman tanaman penutup tanah sebagai sumber bahan organik lokal pada lahan yang berpotensi tererosi. 3. Pelatihan tentang kesuburan tanah dan rehabilitasi lahan, konservasi tanah dan air, dan kelembagaan	1. Peningkatan produksi padi sawah 2. Tersedianya sumber bahan organik lokal. 3. Tidak terjadi erosi dan sedimentasi 4. Kelompok Tani lebih mantap dan kuat

EVALUASI AWAL ← PROSES → EVALUASI AKHIR

Realisasi Pemecahan Masalah

Kegiatan penambahan bahan organik pada tanah sawah dilakukan dengan pembuatan demplot di Hamparan Cempaka lahan Pak Andi Rianto dan Hamparan Sukamaju lahan Pak Jaka, Desa Hambaro Kecamatanan Nanggung. Penanaman tanaman penutup tanah sebagai sumber bahan organik lokal pada lahan yang berpotensi tererosi dilakukan dengan pembuatan demplot di lahan Pak Andi Rianto. Pelatihan kelembagaan dilakukan di kantor desa Hambaro, Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor.

Khalayak Sasaran

Yang menjadi khalayak sasaran dalam kegiatan Program Ipteks Bagi Masyarakat (IbM) adalah POKTAN di sekitar kawasan penambangan emas di Gunung Pongkor, khususnya POKTAN Cempaka dan POKTAN Sukamaju di Desa Hambaro Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor.

Metode Kegiatan

Lahan kritis yang digunakan sebagai kegiatan Program IbM terdiri dari : (1) tanah sawah di sekitar Gunung Pongkor yang diperkirakan terkena dampak pencemaran Hg akibat penambangan emas liar dan (2) lahan yang berpotensi tererosi, jika dibiarkan terbuka. Berdasarkan kriteria tersebut maka kegiatan ini

dalam pelaksanaannya bermitra dengan POKTAN Cempaka 1 yang diketuai oleh Pak Andi Rianto.

Kegiatan yang dilakukan dalam progam IbM ini terdiri dari: (1) pembuatan demplot pemberian bahan organik pada tanah sawah, (2) pembuatan demplot penanaman tanaman sebagai sumber bahan organik lokal, dan (3) pelatihan rehabilitasi lahan kritis dan pemantapan kelembagaan.

Pembuatan Demplot Pemberian Bahan Organik pada Tanah Sawah

Pembuatan demplot pemberian bahan organik pada tanah sawah dengan tahapan sebagai berikut: (1) menentukan lokasi, (2) pengolahan tanah,dan (3) penanaman. Penentuan lokasi demplot dilakukan dengan cara mencari petani yang bersedia lahannya digunakan untuk demplot dan dilakukan analisis kandungan Hg pada tanah sawah yang akan digunakan demplot. Analisis kandungan Hg pada tanah sawah yang berasal dari empat lokasi, yaitu dari Hamparan Cempaka 1, Hamparan Cempaka 2, Hamparan Sukamaju, dan Dukuh Cadas Leuer Desa Pangkal Jaya. Berdasarkan kesediaan petani yang sawahnya dapat digunakan untuk demplot, maka demplot dibuat di lahan sawah : (1) hamparan Cempaka 1 milik Pak Andi Rianto (Ketua POKTAN Cempaka 1) dan (2) hamparan Sukamaju milik Pak Jaka (Anggota POKTAN Sukamaju). Hamparan Cempaka 1 dan Hamparan Sukamaju terletak di Dukuh Kalong Liud Desa Hambaro Kecamatan Nanggung. Kondisi tanah sawah sebelum digunakan demplot, luas, dan dosis bahan organik yang diberikan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi tanah sawah sebelum digunakan demplot, luas, dan dosis bahan organik yang diberikan

No.	Uraian	Hamparan	
		Cempaka 1	Sukamaju
1.	Pemilik	Andi Rianto	Jaka
2.	Luas (m^2)	75	500
3.	Lokasi (Desa,Dusun)	Hambaro, Kalongliud	Hambaro, Kalongliud
4.	Pemberian bahan organik yang sudah dilakukan	Pernah, selama 1 tahun dengan dosis 3 ton/ha	Belum pernah (0 ton/ha)
5.	Dosis bahan organik yang diberikan dalam demplot	20 ton bokasih/ha	8 ton bokasih/ha

Pembuatan Demplot Penanaman Tanaman Sebagai Sumber Bahan Organik Lokal

Pembuatan demplot penanaman tanaman sebagai sumber bahan organik lokal dengan tahapan sebagai berikut: (1) menentukan lokasi demplot, (2) pengolahan tanah tempat penanaman, (3) pengecambahan benih, (4) penanaman. Penentuan lokasi demplot penanaman tanaman sebagai sumber bahan organik lokal dilakukan pada lahan Pak Andi Rianto dengan cara menjelajahi lahan yang mempunyai kemiringan lereng antara 5 – 30 %. Lahan yang mempunyai kemiringan 15 -30% berada jauh di belakang rumah dan jalan, sehingga jika digunakan untuk pembuatan demplot tidak aman karena jauh dari pengawasan, Jadi demplot dibuat pada lahan yang mempunyai kemiringan lereng 10%, walaupun potensi erosi yang terjadi pada lahan ini tidak besar, tetapi posisinya di pinggir jalan dan dekat rumah, sehingga mudah pengawasannya. Tanaman yang ditanam adalah tanaman penutup tanah yang terdiri dari *Calopogonium muconoides (Cm)* dan *Centrocema pubescens (Cp)*.

Pelatihan Rehabilitasi Lahan Kritis dan Kelembagaan

Pelatihan rehabilitasi lahan kritis dan pemantapan kelembagaan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut: (1) koordinasi dengan ketua POKTAN, (2) penyusunan materi pelatihan, (3) pembuatan dan penyebaran undangan, (4) pelatihan. Koordinasi dengan ketua POKTAN untuk menetapkan waktu dan tempat pelatihan. Materi pelatihan meliputi: (1) rehabilitasi lahan tercemar dan kesuburan tanah, (2) kandungan hara di dalam pupuk dan manfaatnya untuk pertumbuhan dan produksi tanaman, (3) konservasi tanah dan air, dan (4) pemantapan kelembagaan. Pelatihan ini melibatkan ketua, wakil ketua POKTAN di Desa Hambaro dan POKTAN yang menjadi anggota PATEN di Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor. Kegiatan yang dilakukan selama pelatihan meliputi: (1) evaluasi awal (*pre_test*), (2) pemamaparan materi, dan (5) evaluasi akhir (*post-test*)

Evaluasi Kegiatan

Evaluasi dilakukan terhadap kegiatan : (1) pembuatan demplot pemberian bahan organik pada tanah sawah, (2) pembuatan demplot penanaman tanaman

sebagai sumber bahan organik lokal, dan (3) pelatihan rehabilitasi lahan kritis dan pemantapan kelembagaan.

Tolok ukur keberhasilan kegiatan pemberian bahan organik pada tanah sawah dievaluasi dari peningkatan produksi padi sawah. Sebagai tolok ukur keberhasilan kegiatan penanaman tanaman sebagai sumber bahan organik lokal dievaluasi dari bobot bahan organik yang dihasilkan. Untuk mengevaluasi keberhasilan kegiatan pelatihan rehabilitasi lahan kritis dan pemantapan kelembagaan dilakukan evaluasi awal dan evaluasi akhir dengan memberikan daftar pertanyaan yang sama. Daftar pertanyaan meliputi pengetahuan tentang konservasi tanah dan air, kesuburan tanah, rehabilitasi lahan, dan penanaman sumber bahan organik. Untuk mengetahui peningkatan pengetahuan peserta tentang konservasi tanah dan air, rehabilitasi lahan, penanaman sumber bahan organik, dan kelembagaan, maka dilakukan evaluasi dengan melihat perubahan nilai hasil evaluasi awal dan evaluasi akhir. Selanjutnya untuk mengetahui tingkat pengetahuan petani tentang materi pelatihan, maka hasil evaluasi perubahan nilai awal dan akhir dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu: rendah (<50), sedang (50 – 70), dan tinggi (>70). Selain itu, juga dilakukan evaluasi proses untuk mengetahui respon peserta terhadap pelaksanaan kegiatan ceramah, maka dilakukan diskusi interaktif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pembuatan Demplot Pemberian Bahan Organik pada Tanah Sawah

Dalam penentuan lokasi demplot pemberian bahan organik pada tanah sawah dilakukan analisis kandungan Hg pada tanah sawah. Hasil analisis kandungan Hg dari empat lokasi pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Kandungan Hg pada Lokasi Demplot

No.	Lokasi	Kandungan Hg
1.	Hamparan Cempaka 1	Tidak terukur
2.	Hamparan Cempaka 2	Tidak terukur
3.	Hamparan Sukamaju	Tidak terukur
4.	Dusun Cadas Leuer, Desa Pangkal Jaya	24,30 ppb

Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan Hg pada tanah sawah Hamparan Cempaka 1, Hamparan Cempaka 2, dan Hamparan Sukamaju tidak terukur artinya

sangat kecil bahkan tidak ada. Ketiga hamparan tersebut berada di Dusun Kalong Liud Desa Hambaro. Sedangkan kandungan Hg di Dusun Cadas Leuer Desa Pangkal Jaya 24,30 ppb, kandungan ini juga kecil dan di bawah ambang batas kandungan Hg yang membahayakan manusia. Walaupun demikian tetap berbahaya bagi manusia jika terserap oleh tanaman padi, karena akan terjadi bioakumulasi di dalam tubuh manusia. Berdasarkan hasil analisis kandungan Hg ini seharusnya kegiatan Program IbM ini dilakukan di Dusun Cadas Leuer Desa Pangkal Jaya. Karena POKTANnya tidak aktif, maka kegiatan dilakukan di Dusun Kalong Liud Desa Hambaro bermitra dengan POKTAN Cempaka 1. Hal ini karena untuk dapat melaksanakan kegiatan IbM diperlukan media transfer teknologi yaitu POKTAN yang aktif.

Kandungan Hg pada tanah sawah hasil analisis tersebut jika dibandingkan dengan hasil analisis tahun 2000 yang dilakukakan oleh Pusat Penelitian Tanah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kandungan Hg pada Tanah Sawah pada Tahun 2000 dan 2010

No.	Lokasi (Dusun, Desa)	Kandungan Hg tanah sawah tahun	
		2000	2010
1.	Kalong Liud, Hambaro	0,0693 ppm	Tidak terukur
2.	Cadas Leueur, Pangkal Jaya	0,0081 ppm	24,30 ppb

Tabel 4 menunjukkan bahwa kandungan Hg pada tanah sawah mengalami penurunnan, di Dusun Kalong Liud Desa Hambaro dari 0,0693 ppm menjadi tidak terukur dan di Dusun Cadas Leueur Desa Pangkal Jaya dari 0,0081 ppm menjadi 24,30 ppb. Tidak terukurnya kandungan Hg pada tanah sawah di Dusun Kalong Liud Desa Hambaro karena: (1) adanya bendung Cinaki yang merupakan sumber irigasi yang mengairi hamparan di Desa Hambaro sejak tahun 2005, (2) penambang illegal sudah sangat berkurang, dan (3) adanya pembinaan dari PT. Antam. Kandungan Hg pada tanah sawah di Dukuh Cadas Leuer Desa Pangkal Jaya 24,30 ppb, nilai ini jauh lebih kecil dari kandungan Hg pada tahun 2005 yaitu 0,0081 ppm. Penurunan kandungan Hg ini karena adanya pembinaan PETI oleh P.T Antam dan berkurangnya jumlah Gurandil.

Hasil pengamatan vigor tanaman dan rata-rata jumlah anakan disajikan pada Tabel 5. Tabel 5 menunjukkan bahwa vigor tanaman padi sawah yang

dipupuk organik baik dan yang tidak dipupuk organik kurang baik. Hal ini karena pemberian bahan organik pada tanah sawah selain menyediakan unsur hara juga memperbaiki sifat fisik tanah. Dengan diperbaikinya sifat fisik tanah maka pertumbuhan akar akan bagus sehingga mampu menyerap unsur hara tanaman yang tersedia secara optimal, dengan demikian pertumbuhan tanaman akan menjadi lebih baik.

Tabel 5 . Hasil pengamatan vigor tanaman dan rata-rata jumlah anakan

No.	Komponen	Hamparan			
		Cempaka 1		Sukamaju	
		+ 20 ton BO	+ 7 ton BO	+ 8 ton BO	+ 0 ton BO
1.	Vigor tanaman	Baik	Baik	Baik	Kurang baik
2.	Jumlah anakan	23	32	15	13

Keterangan: BO = Bahan Organik

Produksi padi sawah pada demplot Hamparan Cempaka 1 dan Hamparan Sukamaju sebelum Program IbM disajikan pada Tabel 6 dan produksi padi sawah Program IbM pada Tabel 7.

Tabel 6. Produksi padi pada demplot Hamparan Cempaka 1 dan Hamparan Sukamaju sebelum Program IbM

No.	Hamparan	Produksi	
1.	**Cempaka 1**	**kg/75m^2**	**ton/ha**
	+ 7 ton BO	83	11,07
2.	**Sukamaju**	**kg/1000m^2**	**ton/ha**
	+ 0 ton BO	45	0,45

Keterangan: BO = Bahan Organik

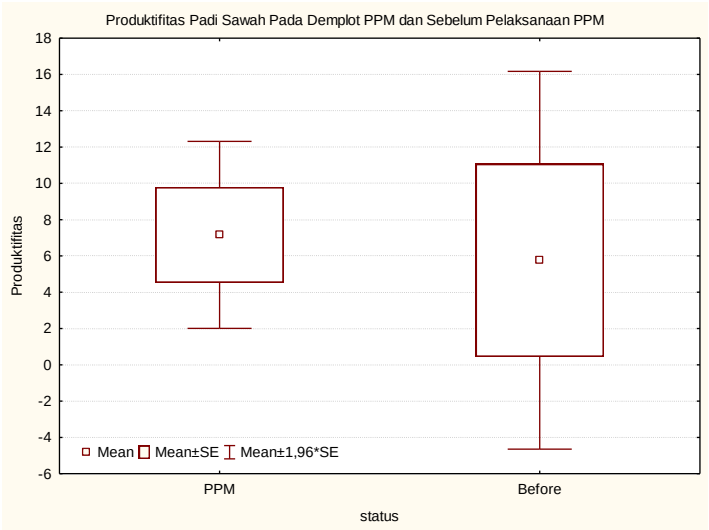
Tabel 6 menunjukkan bahwa sebelum Program IbM hamparan sukamaju tidak dipupuk bahan organik,sedangkan hamparan Cempaka 1 dipupuk bahan organik dengan dosis 7 ton/ha. Dengan demikian produktivitas padi sawah hamparan Cempaka 1 lebih besar dari produktivitas padi sawah di hamparan Sukamaju. Lebih tingginya produktivitas padi sawah di hamparan Cempaka 1 selain disebabkan oleh penambahan bahan organik, juga disebabkan oleh penambahan pupuk NPK dengan dosis 200kg/ha, jenis pupuk yang diberikan adalah pupuk majemuk Ponska. Sedangkan di hamparan Sukamaju hanya memberikan pupuk urea dengan dosis 50 kg/ha.

Tabel 7. Produksi padi pada demplot Hamparan Cempaka 1 dan Hamparan Sukamaju Program IbM

No.	Hamparan	Produksi	
1.	**Cempaka 1**	**kg/75m^2**	**ton/ha**
	+ 20 ton BO	106,0	14,0
	+ 7 ton BO	63,8	8,5
2.	**Sukamaju**	**kg/500m^2**	**ton/ha**
	+ 8 ton BO	187,0	3,47
	+ 0 ton BO	117,0	2,40

Keterangan: BO = Bahan Organik

Hasil analisis box plot produktivitas padi sawah sebelum Program IbM dengan Program IbM pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan perbandingan box plot antara produktivitas padi sawah sebelum Program IbM dengan Program IbM di Desa Hambaro Kecamatan Nanggung, Bogor. Gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai tengah produktivitas padi sawah pada demplot Program IbM lebih tinggi dibandingkan dengan produktivitas padi sawah pada periode sebelum Program IbM. Perbedaan yang lebih nyata adalah ragam produktivitas setelah dilaksanakannya Program IbM relatif lebih kecil dibandingkan dengan sebelum Program IbM. Ragam data diwakili oleh rentang data terkecil dan terbesar. Gambar tersebut menunjukkan produktivitas setelah pelaksanaan Program IbM memiliki tingkat kepastian produktivitas yang lebih besar atau ketidakpastian (*uncertainty*) yang lebih rendah dibandingkan sebelum dilaksanakannya Program IbM.



Gambar 1. Perbandingan Box Plot Produktivitas Padi Sawah Sebelum Program IbM dengan Program IbM.

Uji T untuk menilai produktvitas pemberian bahan organik sebesar 0 ton per hektar pada pelaksanaan Program IbM dengan pada plot yang diberi bahan organik disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji T untuk menilai produktivitas pemberian bahan organik

Parameter statistik	Nilai parameter
Nilai tengah	8,75
Simpangan baku	5,13
Jumlah contoh	3,00
SE-baku	2,96
Konstanta pembanding	2,40
Nilai T	2,14
Nilai p	0,17

Tabel 8 menunjukkan bahwa rataan produktivitas di lahan yang diberi bahan organik berbeda dengan produktivitas lahan padi sawah tanpa bahan organik. Walaupun uji tidak nyata pada tingkat kepercayaan 95% namun dengan plot percobaan yang memiliki ulangan potensi perbedaan pemberian bahan organik diduga akan berperan nyata. Dari uji diketahui tingkat kesalahan sebesar 17%, artinya pada tingkat kepercayaan 83% produktivitas pada lahan yang diberi aplikasi bahan organik berbeda dengan lahan tanpa aplikasi bahan organik.

2. Pembuatan Demplot Penanaman Tanaman Sebagai Sumber Bahan Organik Lokal

Hasil demplot penanaman tanaman sebagai sumber bahan organik lokal tidak sesuai dengan harapan, karena setelah tanaman berumur satu bulan di curi orang, hanya tinggal dua baris. Setiap barisnya mempuyai panjang 3 meter dengan lebar 15 cm. Setelah tanaman dicuri dibuat demplot baru, tetapi tanaman tidak tumbuh karena busuk. Busuknya benih yang ditanam disebabkan oleh hujan yang terus-menerus. Jadi hasil demplot bahan organik diperoleh dari sisa tanaman dari demplot yang telah dicuri orang. Sisa tanaman pada demplot tanaman sumber bahan organik lokal memberikan hasil 4,96kg/0,9m^2. Karena di dalam penanam tanaman sumber bahan organik lokal lebar barisan tanaman 15 cm dan jarak antar baris 35 cm, maka produksi bahan organik 152kg/ 100 m^2 . Jadi produktivitas bahan organik sumberdaya lokal 15,2 ton/ha.

Berdasarkan produktivitas bahan organik tersebut maka petani dapat menyediakan bahan organik untuk kebutuhan tanaman padi dari lahan berlereng yang dimiliknya. Hal ini karena pemilik sawah pada umumnya juga memiliki lahan berlereng yang cukup luas yang ditanami tanaman pohon, tetapi permukaan tanahnya dibiarkan terbuka sehingga berpotensi tererosi.

3. Pelatihan Rehabilitasi Lahan Kritis dan Kelembagaan

Peserta pelatihan rehabilitasi lahan kritis dan pemantapan kelembagaan 30 orang. Dalam pelatihan ini dilakukan evaluasi awal dan evaluasi akhir mengenai materi (1) konservasi tanah dan air dan (2) kesuburan tanah dan rehabilitasi tanah sawah. Dari 30 peserta yang mengisi evaluasi awal 12 orang dan evaluasi akhir 15 orang. Hal ini karena sebagian besar peserta pendidikannya tidak lulus SD, sehingga tidak semua peserta bisa membaca dengan lancar. Rataan nilai pretes dan postes dari kedua materi disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rataan nilai evaluasi awal dan evaluasi akhir kegiatan pelatihan

No.	Materi	Evaluasi awal	Evaluasi akhir	Peningkatan Nilai
1.	Konservasi tanah dan air	33,30	56,00	22,70
2.	Kesuburan tanah dan rehabilitasi tanah sawah	33,11	53,73	20,62

Tabel 9 menunjukkan bahwa rataan nilai pretes baik konservasi tanah dan air maupun kesuburan tanah dan rehabilitasi tanah sawah tergolong rendah (< 50). Hal ini menunjukkan bahwa rendahnya pengetahuan peserta pelatihan tentang konservasi tanah dan air, kesuburan tanah, dan rehabilitasi tanah sawah tercemar Hg, Sedangkan rataan nilai evaluasi akhir meningkat dari dari golongan rendah menjadi sedang, dengan peningkatan nilai 22,70 poin untuk konservasi tanah dan air , 20,62 untuk kesuburan tanah dan rehabilitasi lahan. Peningkatan rataan nilai postes ini menunjukkan adanya respon positif dari peserta pelatihan, sehingga pengetahuan mereka bertambah. Selain itu, respon positif peserta ditunjukkan oleh antusias peserta pada saat diskusi interaktif dengan pemberi materi dan peningkatan jumlah peserta yang menjawab setiap pertanyaan pada waktu postes (Tabel 10 dan Tabel 11).

Tabel 10. Jumlah peserta yang menjawab pertanyaan pretes dan postes konservasi tanah dan air

No.	Pertanyaan	Jumlah (Orang)	
		Pretes	Postes
1.	Menurut Bapak, istilah tanaman penutup Tanah adalah	4	9
2.	Desa Hambaro banyak memiliki daerah berlereng, artinya	6	8
3.	Kerusakan tanah dapat disebabkan oleh	6	10
4.	Lahan kritis adalah	6	4
5.	Lahan berlereng sebaiknya ditanami	6	8
6.	Tanaman penutup tanah yang baik adalah	3	6
7.	Tanaman yang baik digunakan untuk penutup tanah memiliki sifat	4	10
8.	Tanaman penutup tanah rendah bermanfaat untuk	3	10
9.	Tanaman penutup tanah juga biasa disebut	2	7
10.	Cara menanam tanaman penutup tanah dengan cara	1	8

Tabel 10 menunjukkan bahwa dalam evaluasi akhir jumlah peserta yang menjawab pertanyaan yang berhubungan dengan konservasi tanah dan air meningkat, kecuali pertanyaan no 4 yang dimaksud lahan kritis. Pertanyaan lain yang berhubungan dengan lahan kritis jumlah peningkatan peserta yang dapat menjawab hanya 2 sampai 3 orang. Sedangkan peningkatan jumlah peserta yang menjawab pertanyaan yang berhubungan dengan tanaman penutup tanah 5 sampai 7 orang.

Tabel 11 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan jumlah peserta yang dapat menjawab soal kesuburan tanah dan rehabilitasi lahan pada saat evaluasi akhir, kecuali pertanyaan no. 7 (kandungan unsur hara SP36) dan no. 12 (alasan pupuk organik dapat mengatasi pencemaran Hg pada tanah sawah. Hal ini karena petani di Desa Hambaro kebanyakan baru menggunakan pupuk urea dan belum berfikir mengenai pencemaran. Peningkatan jumlah peserta yang dapat menjawab soal yang berhubungan dengan kesuburan tanah, unsur hara, pupuk organik, dan pupuk hayati pada saat evaluasi akhir 7 sampai 10 orang. Hal ini menunjukkan bertambahnya pengetahuan peserta tentang kesuburan tanah, unsur hara, pupuk organik, pupuk hayati, dan kehilangan pupuk urea.

Tabel 11 . Jumlah peserta yang menjawab pertanyaan pretes dan postes kesuburan tanah dan rehabilitasi lahan

No.	Pertanyaan	Jumlah (orang)	
		Pretes	Postes
1.	Kesuburan tanah ditentukan oleh	9	12
2.	Usaha-usaha pengelolaan kesuburan tanah adalah	6	8
3.	Kesuburan tanah dinilai dengan cara	6	15
4.	Bahan makanan yang diperlukan tanaman untuk pertumbuhannya dikenal sebagai	1	6
5.	Unsur hara makro diperlukan tanaman dalam jumlah banyak, yang termasuk unsur hara makro yang diperlukan paling banyak adalah	5	12
6.	Pemupukan kimia secara terus menerus akan menyebabkan	6	10
7.	Kandungan pupuk SP-36 adalah unsur hara	1	1
8.	Pupuk yang mengandung NPK dikenal sebagai	1	2
9.	Kresek pada padi disebabkan oleh	2	7
10.	Pupuk organik (kompos) lebih baik jika dibandingkan dengan pupuk kimia karena	6	15
11.	Kandungan pupuk hayati kemungkinan adalah	6	14
12.	Pupuk organik dapat mengatasi pencemaran Hg karena	4	3
13.	Yang tidak termasuk pupuk organik adalah	4	8
14.	Tanah yang diberi kompos akan menjadi	5	15
15.	Pupuk urea yang diberikan ke tanah sawah akan	3	10

KESIMPULAN

Penambahan bahan organik pada tanah sawah menunjukkan bahwa nilai tengah produktivitas padi sawah pada demplot Program IbM lebih tinggi dibandingkan dengan produktivitas padi sawah pada periode sebelum Program IbM. Produktivitas Program IbM memiliki tingkat kepastian produktivitas yang lebih besar atau ketidakpastian (*uncertainty*) yang lebih rendah dibandingkan sebelum dilaksanakan Program IbM.

Demplot tanaman sumber bahan organik lokal memberikan hasil bahan organik sumberdaya lokal 15,2 ton/ha dalam waktu tiga bulan, sehingga petani dapat menyediakan bahan organik untuk tanah sawahnya dari lahan berlereng yang dimiliknya.

Kegiatan pelatihan meningkatkan pengetahuan petani dari rendah ke sedang tetang kesuburanan tanah, manfaat dan kandungan unsur hara suatu jenis pupuk, manfaat pupuk organik, kehilangan pupuk, lahan kritis, dan manfaat tanaman penutup tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Boyd dan Sommer. 1990. Humic and fulvic acid fractions from sewage sludge and alude amended soils. Dalam P. Mac Carthy, C.E. Clapp, R.L. Malcolm, dan P.R. Bloom (eds). Humic substances in soil and Crop Sciences Selected Reading. America Society of Agronomy, Inc and Soil Science Society of America, Inc. Madison. H.203-202.

Moore D.S. and McCabe G.P. 1989. Introduction to the practice of statistics. W.H. Freeman and Company, New York.

Mulyadi, Pramono A., dan Ansori A. 2007.Pencemaran Merkuri pada Tanah dan Air Sawah Akibat Penambangan Emas di gunung Pongkor Bogor. Pros. Seminar Nasional Sumberdaya Lahan dan Lingkungan Pertanian. Balitbang Sumberdaya Pertanian. Bogor.

Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 2000. Pengkajian Baku Mutu Tanah pada Lahan Pertanian. Laporan Akhir Kerjasama Antara Proyek Pengembangan Penataan Lingkungan Hidup – Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Jakarta dan Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat – Badan Litbang Pertanian. Bogor.

KANDUNGAN KARBON PADA BERBAGAI MACAM TIPE VEGETASI DI LAHAN GAMBUT EKS PLG SEJUTA HA SETELAH 10 TAHUN TERBAKAR (TAHUN KEDUA: REHABILITASI DENGAN BLOCKING KANAL)

(Carbon Content at Several Vegetation Type in ExPLG Million ha After 10 Years Burnt) (The second Years: The Peat Rehabilitation by Canal Blocking)

Basuki Wasis, Dadan Mulyana
Dep. Silvikultur, Fakultas Kehutanan IPB

ABSTRAK

Sesudah 10 tahun terbakar tidak banyak diketahui bagaimana kehidupan flora dan fauna di eks-PLG sejuta ha, banyak penelitian lebih menonjolkan kepada kandungan karbon dari lahan gambut yang terbakar. Penelitian ini adalah menggunakan cara destructive sampling untuk menghitung biomassanya serta carbon yang akan dihitung adalah fixed carbonnya. Pada rehabilitasi lahan gambut terbakar > 2 tahun dengan blocking kanal telah tumbuh hutan sekunder bekas terbakar dengan komposisi jenis yaitu 4 jenis (tingkat pohon), 4 jenis (tingkat tiang), 8 jenis (tingkat pancang), 8 jenis (tingkat semai) dan 8 jenis (tumbuhan bawah). Pada rehabilitasi gambut terbakar > 2 tahun dengan blocking kanal didapatkan komposisi jenis vegetasi yang dominan hutan sekunder bekas terbakar untuk tingkat pohon yaitu Tumih, (INP 101,2 %); tingkat tiang yaitu akasia (INP 89,9 %) tingkat pancang yaitu mahambung (INP 93,57 %) dan tingkat semai yaitu sesendokan (INP 64,2 %) serta tumbuhan bawah yaitu Bari-bari (INP 27,17 %). Kandungan biomassa pada tipe vegetasi hutan sekunder terbakar > 2 tahun (blocking kanal) sebesar 182,17 ton/ha. Kandungan karbon (daya serap karbon) biomassa pada tipe vegetasi hutan sekunder terbakar > 2 tahun (blocking kanal) sebesar 98,72 ton/ha.

Kata kunci : Fixed carbon, biomassa, blocking kanal, lahan gambut, struktur dan komposisi hutan gambut, lahan bekas terbakar.

ABSTRACT

After 10 years burnt is not knowing how many plants and animals life in the ex PLG million ha. It is made a negative impact because carbon can't be absorbed in this area that occur in the context of carbon sequestration to reduce greenhouse gas emissions that have been released previously. This research was used destructive sampling to calculate the biomass and fixed carbon and that will know the peat forest structure and composition. The peat rehabilitation by canal blocking after burnt two years ago has occurred secondary forest succession. of 4 species (tree), 4 species (pole), 8 species (Saplings), 8 species (seedling) and 8 species (understorage). The dominant vegetation in secondary forest that developed after > 2 years (blocking canal) burnt was shown in important value index (IVI) for tree that is tumih (101,2 %), for pole that is akasia (89,9 %), for sapling that is mahambung (93,57 %), for seedling that is sesendokan (64,2 %) and for understrorage that is bari-bari (27,17%). The biomass content in the area is 182,17 ton/ha. Carbon content (carbon absorption) is 98,72 ton/ha.

Keywords : Fixed carbon, biomass, peatland, canal blocking, peat forest structure and composition, exburnt area.

PENDAHULUAN

Peningkatan penyerapan cadangan karbon dapat dilakukan dengan (a) meningkatkan pertumbuhan biomassa hutan secara alami, (b) menambah cadangan kayu pada hutan yang ada dengan penanaman pohon atau mengurangi pemanenan kayu, (c) mengembangkan hutan dengan jenis pohon yang cepat tumbuh. Karbon yang diserap oleh tanaman disimpan dalam bentuk biomassa kayu, sehingga cara yang paling mudah untuk meningkatkan cadangan karbon adalah dengan menanam dan memelihara pohon (Rahayu et al., 2004).

Secara global lahan gambut menyimpan sekitar 329-525 Gt carbón atau 15-35% dari karbon terestris. Sekitar 86% (455 Gt) dari karbon di lahan gambut tersebut tersimpan di daerah temperate (Kanada dan Rusia) sedangkan sisanya sekitar 14% (70Gt) terdapat di daerah tropis. Jika diasumsikan bahwa kedalaman rata-rata gambut di Indonesia adalah 5 m, bobot isi 114 kg/m3, kandungan karbon 50% dan luasnya 16 juta ha, maka cadangan karbon di lahan gambut Indonesia adalah sebesar 46 Gt (Murdiyarso et al, 2004). Cadangan karbon yang besar ini pulalah yang menyebabkan tingginya jumlah karbon yang dilepaskan ke atmosfer ketika lahan gambut di Indonesia terbakar pada tahun 1997 yang berkisar antara 0,81-2,57 Gt (Page, 2002).

Tujuan dilaksanakannya kegiatan penelitian kandungan karbon pada berbagai macam tipe Vegetasi di lahan gambut eks-PLG Sejuta ha setelah 10 tahun terbakar tahun kedua adalah untuk : a) Mengidentifikasi jenis vegetasi yang tumbuh setelah gambut terbakar digenangi (blocking kanal) b) Mengetahui struktur dan komposisi vegetasi pada lahan gambut bekas terbakar yang digenangi c) Menghitung potensi biomassa dari masing-masing tipe vegetasi khususnya jenis pohon pada lahan gambut yang digenangi d) Menghitung potensi dan daya serap karbon dari masing-masing tipe vegetasi khususnya pohon pada lahan gambut yang digenangi e) Mengetahui peranan blocking kanal dalam upaya pemulihan lahan gambut bekas terbakar melalui identifikasi jenis dan potensi serapan karbon.

METODE PENELITIAN

Tempat Penelitian

Kegiatan akan dilaksanakan di lahan eks-PLG Sejuta ha khususnya di berbagai tipe vegetasi dari beberapa tahapan pertumbuhan seperti pohon, tiang, pancang, tumbuhan bawah yang terbakar sejak 10 tahun lalu dan belum banyak campur tangan manusia, termasuk kanal yang telah dbendung sebagai upaya untuk menekan laju perusakan yang sampai saat ini belum diketahui dengan pasti keefektifannya secara ilmiah.

Analisa Struktur dan Komposisi vegetasi dan Potensi Daya Serap Karbon pada Lahan Bekas Terbakar

Untuk mengetahui perubahan komposisi dan struktur vegetasi pada lahan gambut bekas terbakar dan tidak terbakar maka dibuat 5 (lima) petak contoh yang berukuran 20 m x 20 m (0,04 ha). Pada setiap petak contoh dibagi ke dalam sub petak dengan ukuran 10 m x 10m (100 m2), 5 m x 5 m (25 m2) dan 2 m x 2 m (4m2). Adapun parameter yang ditentukan yaitu : 1). Indeks Nilai Penting (INP) 2). Kekayaan jenis (Species Richness) 3). Keanekaragaman jenis (H') 4). Kemerataan (evennes) 5). Indeks kesamaan antar dua komunitas (Index of similarity).

Untuk mengetahui potensi dan daya serap karbon, maka dilakukan : 1). Pengukuran Baseline Carbon Budget 2). Menghitung biomassa 3). Menghitung Berat Kering Total dan biomass semak 4). Menghitung kadar karbon 5). Model Penduga Biomassa 6). Model Penduga Karbón Pohon dan 7). Model hubungan kandungan karbón dan biomassa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis vegetasi tingkat pohon pada hutan sekunder terdapat 4 jenis pohon. Adapun jenis-jenis tumbuhan pada tingkat pohon tersebut adalah: Geronggang, Tumih, Akasia dan mahambung. Hasil analisa vegetasi tingkat pohon diperoleh kerapatan sebesar 5 - 15 Individu/ha; kerapatan relatif sebesar 11 – 33,3 %; frekuensi sebesar 0,2 - 0,6; frekuensi relatif sebesar 12,5 –

37,5; dominasi sebesar 0,14 – 0,51 individu/ha; dominasi relatif sebesar 12,1 – 42,9 % dan INP sebesar 37,8 – 101,2 %.

Berdasarkan hasil analisis vegetasi hutan sekunder diketahui bahwa jenis dominan antara lain untuk tingkat pohon adalah Tumih dengan INP 101,2 %; dan akasia dengan INP 90,5 %.

Kekayaan jenis pohon pada hutan alam primer diukur dengan indeks kekayaan (Margalef) menunjukkan angka sebesar 1,36 masuk kategori rendah; Keanekaragaman jenis pohoh hutan sekunder yang ditentukan dengan rumus Shannon-Wiener didapatkan sebesar 1,31 termasuk kategori rendah dan kemerataan (evennes) pohon hutan sekunder didapatkan nilai kemerataan sebesar 0,94 masuk kategori tinggi.

Berdasarkan hasil analisis vegetasi untuk tingkat tiang pada hutan sekunder terdapat 4 jenis. Adapun jenis-jenis tumbuhan pada tingkat tiang tersebut adalah: Geronggang, Tumih, Akasia dan mahambung. Hasil analisa vegetasi diperoleh kerapatan sebesar 200 – 380 Individu/ha; kerapatan relatif sebesar 15,4 – 29,2 %; frekuensi sebesar 0,4 – 0,6; frekuensi relatif sebesar 18,2 – 27,3 %; dominasi sebesar 2,4 – 5,9 individu/ha; dominasi relatif sebesar 13,4 – 33,4 % dan INP sebesar 80,5 – 89,9 %.

Berdasarkan hasil analisis vegetasi hutan sekunder diketahui bahwa jenis dominan antara lain untuk tingkat tiang adalah akasia dengan INP 89,9 %; dan Geronggang dengan INP 82,6 %.

Kekayaan jenis tingkat tiang pada hutan sekunder diukur dengan indeks kekayaan (Margalef) menunjukkan angka sebesar 1,01 masuk kategori rendah; Keanekaragaman jenis pohoh hutan sekunder yang ditentukan dengan rumus Shannon-Wiener didapatkan sebesar 1,3 masuk kategori rendah dan kemerataan (evennes) pohon hutan sekunder didapatkan nilai kemerataan sebesar 0,84 masuk kategori tinggi.

Berdasarkan hasil analisis vegetasi untuk tingkat pancang pada hutan sekunder terdapat 8 jenis, adapun jenis-jenis tumbuhan pada tingkat tiang tersebut adalah: akasia, shorea, cempedak, gerunggang, mahambung, mangga, tatumbu dan telayar. Nilai analisa vegetasi diperoleh kerapatan sebesar 80 - 4160

Individu/ha; kerapatan relatif sebesar 1,25 - 65 %; frekuensi sebesar 0,2 - 0,8 ; frekuensi relatif sebesar 7,1 – 28,6 %; dan INP sebesar 8,39 – 93,57 %.

Berdasarkan hasil analisis vegetasi hutan sekunder diketahui bahwa jenis dominan antara lain untuk tingkat pancang adalah mahambung dengan INP 93,57 %; Tumih dengan INP 12,22 % dan Gerunggang dengan INP 45,18 %.

Kekayaan jenis tingkat tiang pada hutan sekunder diukur dengan indeks kekayaan (Margalef) menunjukkan angka sebesar 1,65 masuk kategori rendah; Keanekaragaman jenis pohoh hutan alam yang ditentukan dengan rumus Shannon-Wiener didapatkan sebesar 1,05 masuk kategori rendah dan kemerataan (evennes) pohon hutan sekunder didapatkan nilai kemerataan sebesar 0,50 masuk kategori sedang.

Berdasarkan hasil analisis vegetasi untuk tingkat semai pada hutan sekunder terdapat 8 jenis, adapun jenis-jenis vegetasi/tumbuhan pada tingkat semai tersebut adalah: bintang, gerunggang, kramonting, mahambung, matondang, sesendokan, tatumbu dan telayar. Nilai analisa vegetasi diperoleh kerapatan sebesar 1000 - 28500 Individu/ha; kerapatan relatif sebesar 1,43 – 40,71 %; frekuensi sebesar 0,2 - 0,8; frekuensi relatif sebesar 5,9 – 23,5 % dan INP sebesar 7,3 – 64,2 %.

Berdasarkan hasil analisis vegetasi hutan sekunder diketahui bahwa jenis dominan antara lain untuk tingkat semai adalah sesendokan dengan INP 64,2 % dan Mahambung dengan INP 47,6.

Kekayaan jenis tingkat semai pada hutan alam sekunder dengan indeks kekayaan (Margalef) menunjukkan angka sebesar 1,41 masuk kategori rendah; Keanekaragaman jenis tingkat semai pada hutan sekunder yang ditentukan dengan rumus Shannon-Wiener didapatkan sebesar 1,54 masuk kategori rendah dan kemerataan (evennes) tingkat semai hutan sekunder didapatkan nilai kemerataan sebesar 0,74 masuk kategori tinggi.

Berdasarkan hasil analisis vegetasi untuk tumbuhan bawah pada hutan sekunder terdapat 8 jenis, adapun jenis-jenis vegetasi/tumbuhan pada tingkat semai tersebut adalah: gusar, hawuk, pakis, pakis kelakay, purun tikus, purun danau, rumput belanda dan rumput gusar. Nilai analisa vegetasi diperoleh kerapatan sebesar 1000 - 49000 Individu/ha; kerapatan relatif sebesar 0,63 – 30,63

%; frekuensi sebesar 0,2 - 0,8; frekuensi relatif sebesar 5,9 – 23,5 % dan INP sebesar 6,51 – 54,15 %.

Berdasarkan hasil analisis vegetasi hutan sekunder diketahui bahwa jenis dominan antara lain untuk tumbuhan bawah adalah pakis dengan INP 54,15 %; dan Hawuk dengan INP 47,59 %.

Kekayaan jenis tumbuhan bawah pada hutan sekunder diukur dengan indeks kekayaan (Margalef) menunjukkan angka sebesar 1,21 masuk kategori rendah; Keanekaragaman jenis tingkat semai pada hutan alam yang ditentukan dengan rumus Shannon-Wiener didapatkan sebesar 1,51 masuk kategori rendah dan kemerataan (evennes) tingkat semai hutan sekunder didapatkan nilai kemerataan sebesar 0,72 masuk kategori tinggi .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan pada hutan yang terbakar >2 tahun telah terjadi proses suksesi yang sangat baik, sehingga terbentuknya hutan sekunder. Hutan sekunder telah memiliki struktur dan komposisi jenis vegetasi yang baik hal tersebut ditunjukkan dengan ada kecenderungan semakin meningkatnya nilai indeks kesamaan (IS) dimana dari nilai terendah ke tinggi yaitu tingkat pohon (13,64 %) > tingkat pancang (3,01 %) > tingkat semai (1,93 %) > tumbuhan bawah (1,79) > tingkat tiang (0 %).

Hal ini berarti bahwa lahan gambut jika terbakar maka lahan gambut akan melakukan pemulihan kembali melalui proses suksesi sehingga terbentuk hutan sekunder yang pada akhirnya akan terbentuk hutan alam seperti kondisi awal sebelum terbakar. Kondisi tersebut dapat berlangsung jika lahan gambut yang terbakar tersebut tidak terjadi gangguan dari luar, selama proses suksesi. Disamping itu tersedianya sumber benih dari pohon sekitarnya dan kepastian kawasan hutan merupakan penting untuk terciptanya hutan sekunder yang baik.

Proporsi biomassa vegetasi pada hutan sekunder dari bagian tumbuhan yang paling tinggi sampai yang terendah yaitu batang sebesar 63,55 ton/ha (35 %), cabang sebesar 37,82 ton/ha (21 %), serasah segar sebesar 32,35 ton/ha (18 %), daun sebesar 18,65 ton/ha (10 %), ranting sebesar 14,77 ton/ha (8 %), serasah busuk sebesar 13,3 ton/ha (7 %), dan kayu busuk sebesar 1,73 ton/ha (1 %). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biomassa terbesar berada pada bagian batang pohon. Sehingga biomassa tipe vegetasi hutan sekunder tersimpan pada

batang pohon. Kegiatan pemanenan log kayu pada hutan sekunder akan menyebabkan hilanya biomassa hutan yang pada akhirnya akan terjadi pemiskinan ekosistem serta hilangnya kemampuan vegetasi dalam menyerap karbon.

Proporsi karbon vegetasi pada hutan sekunder dari bagian tumbuhan yang paling tinggi sampai yang terendah yaitu batang sebesar 45,63 ton/ha (46 %), cabang sebesar 23,09 ton/ha (23 %), serasah segar sebesar 11,18 ton/ha (11 %), ranting sebesar 6,94 ton/ha (7 %), daun sebesar 6,01 ton/ha (6 %), serasah busuk sebesar 5,18 ton/ha (5 %) dan kayu busuk sebesar 0,69 ton/ha (1 %). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon terbesar berada pada bagian batang pohon. Sehingga karbon tipe vegetasi hutan sekunder tersimpan pada batang pohon. Kegiatan pemanenan log kayu pada hutan sekunder akan menyebabkan hilannya karbon hutan dan kemampuan menyerap karbon dari udara.

KESIMPULAN

1. Pada rehabilitasi gambut terbakar > 2 tahun dengan blocking kanal telah tumbuh hutan sekunder bekas terbakar dengan komposisi jenis yaitu 4 jenis (tingkat pohon), 4 jenis (tingkat tiang), 8 jenis (tingkat pancang), 8 jenis (tingkat semai) dan 8 jenis (tumbuhan bawah).
2. Pada rehabilitasi gambut terbakar > 2 tahun dengan blocking kanal didapatkan komposisi jenis vegetasi yang dominan hutan sekunder bekas terbakar untuk tingkat pohon yaitu Tumih, (INP 101,2); tingkat tiang yaitu akasia (INP 89,9) tingkat pancang yaitu mahambung (INP 93,57 %) dan tingkat semai yaitu sesendokan (INP 64,2 %) serta tumbuhan bawah yaitu Bari-bari (INP 27,17 %). .
3. Kandungan biomassa pada tipe vegetasi hutan sekunder terbakar > 2 tahun (blocking kanal) sebesar 182,17 ton/ha.
4. Kandungan karbon (daya serap karbon) biomassa pada tipe vegetasi hutan sekunder terbakar > 2 tahun (blocking kanal) sebesar 98,72 ton/ha.

DAFTAR PUSTAKA

Barrow, C.J. 1991. Land degradation: Development and breakdwon of terrestrial environments. Cambridge University Press. Cambridge.

Debano, L.F, D.G. Neary dan P.F. Ffolliott. 1998. Fire's Effect on Ecosystems. John Wiley and Sons, Inc. New York. 319 pp.

Hooijer, A. 2008. Science Base: monitoring and quantifying peatland rehabilitation intervention impacts. Indonesian Symposium on Policy and practices in peat and lowland management.

Kusmana, C dan Istomo. 1995. Ekologi Hutan. Laboratorium Ekologi Hutan. Fakultas Kehutanan IPB. 190 hal.

MacDicken, K.G. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrick International Institute for Agricultural Development.

Odum, E.P. 1971. Fundamentals of Ecology. W.B. Saunders Co.Philadelphia.574 hal.

Page, S., Siegert, F., Rieley, J.O., Boehmn, H.D.V., Jaya, A dan Limin, S. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fire in Indonesia during 1997. Nature. Vol.42: 61-65

PEACE. 2007. Indonesia dan Perubahan Iklim: Status Terkini dan Kebijakannya.

Rahayu, S., Betha Lusiana, dan Noordwijk, Mv. 2004. Pendugaan cadangan carbón diatas permukaan tanah pada berbagai sistim penggunaan lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timar.

Sorensen, K.W. 1992. Human action to control global warming through designed ecosystems. UNESCO/ROSTEA publication.

Soerianegara, I dan A. Indrawan. 1998. Ekologi Hutan Indonesia. Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan IPB.Bogor. 104 hal.

Soerianegara, I dan A. Indrawan. 2005. Ekologi Hutan Indonesia. Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan IPB.Bogor. 103 hal.

EFEKTIVITAS *BRACHIARIA*, MIKORIZA DAN KOMPOS JERAMI PADI DIPERKAYA KALIUM DALAM PERBAIKAN KUALITAS TANAH MASAM DAN HASIL UBIKAYU

(Effectiveness of *Brachiaria*, Mycorrhiza and Rice Straw Compost Enriched with Potassium in Improving Acid Soil Quality and Cassava Yield)

Bariot Hafif[1)], Supiandi Sabiham[2)], Iswandi Anas[2)], Atang Sutandi[2)], Suyamto[3)]
[1)]Mahasiswa Program Doktoral Bidang Studi Ilmu Tanah Sekolah Pascasarjana IPB
[2)]Dep. Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB
[3)]Puslitbang Tanaman Pangan Badan Litbang Pertanian

ABSTRAK

Keracunan Al. kekurangan K dan hara-hara penting lainnya, rusaknya struktur tanah oleh kehilangan bahan organik adalah faktor-faktor penyebab rendahnya kualitas tanah masam. Eksudat akar *Brachiaria* berpotensi untuk detoksi Al dan memperbaiki ketersediaan hara. *Arbuscular mycorrhiza* (AM) meningkatkan serapan hara akar tanaman pada tanah-tanah miskin. Penelitian dilaksanakan untuk menguji potensi eksudat akar *Brachiaria* dalam kelatisasi Al^{3+} dan penurunan Al dapat ditukar (Al-dd) dan mengevaluasi efektivitas perlakuan *Brachiaria,* mikoriza dan kompos jerami padi diperkaya kalium dalam perbaikan kualitas tanah masam terkait ketersediaan K, dan peningkatan hasil, kadar pati serta penurunan senyawa sianogen ubikayu. Setelah dua bulan penelitian rumah kaca, asam malat, asam sitrat dan asam oksalat yang di hasilkan oleh akar tiga spesies *Brachiaria* diukur. Asam malat terukur lebih banyak dibanding asam sitrat dan oksalat. Asam-asam organik tersebut efektif mengkelat Al. *Brachiaria decumbens* (BD) (*Brachiaria* terpilih dalam penelitian rumah kaca) menurunkan Al-dd tanah masam sampai 33%. Eksudat akar dan pangkasan daun BD yang dikembalikan ke tanah dan interaksi BD dengan AM efektif meningkatkan ketersediaan K tanah. BD dan interaksi BD dengan AM memperbaiki hasil, pati dan mengurangi kadar senyawa sianogen (*cyanogenic glucosides*) ubikayu. Perlakuan interaksi BD, AM dan kompos jerami diperkaya K (KCl) 200 kg ha^{-1} meningkatkan kadar pati dan menurunkan kadar senyawa sianogen ubikayu masing-masing 13% dan 42%.

Kata kunci **:** *Brachiaria,* mikoriza, kompos jerami padi diperkaya kalium, tanah masam, pati ubikayu.

ABSTRACT

Al toxicity, deficiency in K and other essential nutrients, damaged soil structures due to loss of organic matters are factors inducing low acid soil quality. *Brachiaria* root exudates have potential in detoxifying Al and improving availability of nutrients and arbuscular mycorrhiza (AM) could increase nutrient uptake by plant roots in poor soils. The experiments were conducted to examine potensial of *Brachiaria* root-exudates in chelating Al and reducing exchangeable Al of soil, and to evaluate the effectiveness of *Brachiaria*, AM and potassium enriched rice straw compost in improving the quality of acid soil connected with available K, and in increasing yield, starch and suppressing cyanogenic glucosides of cassava as well. After two months of the greenhouse experiment, malic, citric, and oxalic acids produced by the three *Brachiaria* root-exudates were determined. The production of malic acid was higher than that of citric and oxalic acid. The organic acids chelated Al effectively. *Brachiaria decumbens* (BD) (the selected *Brachiaria* in the greenhouse experiment) decreased exchangeable Al of the acid soil as

much as 33 %. The root-exudates and leave-cut of BD returned to the soil, and the interaction of BD and AM effectively increased the availability of K. BD and interaction of BD and AM improved yield, starch, and reduced cyanogenic glucosides of cassava. The treatment of BD, AM and rice straw compost enriched with 200 kg KCl ha^{-1} interaction resulted in a 13% increase of starch and a 42% decrease of cyanogenic glucosides.

Keywords : *Brachiaria,* arbuscular mycorrhiza, potassium enriched rice straw compost, acid soil, cassava starch.

PENDAHULUAN

Rumput *Brachiaria* toleran keracunan Al karena akarnya mengeksudasi asam-asam organik berat molekul rendah untuk detoksi Al^{3+} (Wenzl *et al.* 2003). Proses detoksifikasi ion Al diperankan antara lain oleh anion malat di-karboksilat ($malat^{2-}$), dan anion sitrat tri-kaboksilat (sitrat $^{3-}$) yang mengkelat Al^{3+} (Dynes & Huang 1997; Pineros *et al.* 2005).

Eksudat akar *Brachiaria* juga dapat memperkaya C-organik tanah (Agbenin & Adeniyi 2005), memperbaiki stabilitas agregat tanah (Husson *et al.* 2003) dan meningkatkan mobilitas hara berkelarutan rendah seperti hara P, Fe dan Zn (Oburger *et al.* 2009). Selain itu *Brachiaria* menyerap lebih banyak ion K dibanding ion-ion lainnya (Chee & Wong 1985, diacu dalam Fanindi & Prawiradiputra 2005; Wenzl *et al.* 2003) sehingga berpotensi untuk preservasi K tanah dari pencucian. *Arbuscular mycorrhiza* (AM) memperbaiki serapan hara tanaman induk pada tanah-tanah miskin diantaranya tanah miskin P (Howeler 2002; Rillig 2004).

Tanaman ubikayu meski toleran terhadap tanah marginal namun bila dikelola pada tanah kualitas rendah maka hasil dan mutu hasil yang didapat juga rendah (Wargiono 2003). Selain itu toleransinya yang tinggi pada tanah marginal menyebabkan petani cenderung mengelola ubikayu dengan masukan rendah. Pengelolaan dengan masukan rendah cenderung mempercepat degradasi tanah dan memperburuk kesuburan tanah (Nakviroj *et al.* 2005).

Sifat-sifat utama tanah masam yang perlu diperbaiki untuk meningkatkan hasil dan mutu hasil ubikayu, diantaranya adalah ketersediaan K tanah (Suyamto 1998; El-Sharkawy & Cadavid 2000; Howeler 2002). Penelitian dilakukan dengan tujuan menguji potensi eksudat akar *Brachiaria* dalam kelatisasi Al^{3+} dan

penurunan Al dapat ditukar (Al-dd) di dalam tanah dan mengevaluasi efektivitas perlakuan *Brachiaria,* mikoriza dan kompos jerami padi diperkaya kalium dalam perbaikan kualitas tanah masam terkait ketersediaan K, dan peningkatan hasil, kadar pati serta penurunan senyawa sianogen ubikayu.

METODE PENELITIAN

Penelitian tahap 1 dilakukan di rumah kaca Faperta IPB dari bulan April sampai Juni 2009. Penelitian tahap 2 di Lab Lapang Kebun Percobaan Tegineneng BPTP Lampung dari bulan Juli 2009 sampai Mei 2010. Di dalam rumah kaca tempat penelitian dipisahkan dengan ruangan lainnya dengan plastik transparan setinggi 2 m dan disterilkan dengan alkohol 70%. Rancangan percobaan adalah RAL dalam faktorial, diulang 3 kali. Faktor 1 spesies *Brachiaria yaitu 1)* kontrol (Tanpa *Brachiaria*), 2) *Brachiaria decumbens* (BD), 3) *Brachiaria ruziziensis* (BR*)*, dan 4) *Brachiaria brizantha* (BB). Faktor 2 konsentrasi Al yaitu : 1) 0 µM, 2) 100 µM, 3) 200 µM, 4) 300 µM dan 5) 400 µM. *Brachiaria* ditanam pada kultur pasir (800 g/pot) yang dibebaskan dari bahan organik dan kation dengan H_2O_2 30% (Sequi dan Aringhieri 1977) dan HCL 5 % (Harris *et al*. 2001) serta disterilkan dari mikroba dengan *Autoclave*. Al berupa $AlCl_3$ diaplikasikan saat tanaman berumur satu minggu bersamaan pemberian larutan hara *Hoagland*.

Data yang diamati adalah asam-asam organik dari eksudat akar *Brachiaria* yaitu asam sitrat, malat dan oksalat serta Al dikelat (Al-organik). Keduanya diukur pada kultur pasir, saat tanaman berumur 2 bulan. Analisis menggunakan metoda sentrifugasi (Angeles *et al.* 2006). Asam-asam organik di dalam supernatan dideteksi dengan HPLC dan Al-organik dengan AAS.

Percobaan di Lab Lapang yaitu di dalam pot buatan berukuran 1 x 1 x 0,45 m menggunakan disain RAL dalam faktorial 2 x 2 x 4 = 16, diulang 3 kali. Faktor 1 adalah rumput BD (*Brachiaria* terpilih dari percobaan rumah kaca), yaitu tanpa (B0) dan dengan tanaman sela BD (B1), faktor 2 adalah AM yaitu tanpa (M0) dan dengan inokulasi AM (M1), dan faktor 3 adalah kompos jerami padi diperkaya kalium, yaitu kompos 2 ton ha^{-1} masing-masing diperkaya 0 kg (K0), 50 kg (K50), 100 kg (K100) dan 200 kg (K200) KCl ha^{-1}. Pot diisi Kanhapludult lolos ayakan 0,5 cm, masing-masing 0-20 cm tanah lapisan atas dan 20-40 cm tanah

lapisan bawah. Stek (20 cm) ubikayu varitas UJ-5 (varitas unggulan Badan Litbang Pertanian untuk bahan baku industri) ditanam pada pot secara tegak (±15 cm dibenamkan di dalam tanah). Perlakuan barisan rumput BD ditanam pada jarak 60 cm dari batang ubikayu dan Perlakuan AM (10 g inokulan pohon^{-1}) diberikan 10 hari sesudah pemberian pupuk dasar. Perlakuan kompos jerami padi diperkaya kalium diberikan bersamaan dengan penggunaan pupuk dasar (200 kg urea^{-1} ha dan 150 kg SP-36 ha^{-1}) segera setelah tanam ubikayu. BD dipangkas setiap 30 hari dan pangkasan BD disebarkan pada tanah di sekeliling pangkal batang ubikayu pada pot yang ditanami BD tersebut.

Al-dd tanah saat 0, 3, 6, 9 bulan sesudah tanam (BST) diamati secara khusus pada pot perlakuan BD, tanpa AM dan kompos jerami diperkaya 0 kg KCl ha^{-1} (B1M0K0) dan pot perlakuan tanpa BD, tanpa AM dan kompos jerami diperkaya 0 kg KCl ha^{-1} (B0M0K0). Contoh tanah diambil dengan bor sampai kedalaman 20 cm pada; 1) daerah sekitar perakaran BD (10-15 cm dari rumpun BD), 2) daerah yang dipengaruhi perakaran BD dan perakaran ubikayu (daerah antara rumpun BD dan pohon ubikayu), 3) daerah perakaran ubikayu tanpa pengaruh BD dan 4) daerah tanpa perlakuan. Contoh tanah untuk analisis K tersedia diambil pada semua pot tanam saat 6 BST pada jarak 30 cm dari batang ubikayu dan khusus pada perlakuan BD (B1), contoh tanah diambil di daerah antara pohon ubikayu dan rumpun BD. Sedangkan parameter pertumbuhan dan hasil ubikayu yang diamati adalah tinggi, diameter batang, bobot dan jumlah umbi per pohon, kadar pati serta kandungan senyawa sianogen (*cyanogenic glucosides*).

Al-dd dianalisis dengan menggunakan metoda *unbuffered* KCl 1N, K tersedia di dalam tanah dengan prosedur Bray 1, kadar pati ubikayu dengan metoda Somogyi-Nelson (Nelson 1944) dan kandungan senyawa sianogen total (*cyanogenic glucosides*) ubikayu yang terdiri dari senyawa linamarin, asetonsianohidrin dan HCN CN^{-1} dengan metoda Bradbury (Bradbury *et al.* 1997, diacu dalam Hidayat & Damardjati 2003).

Analisis statistik terhadap data hasil pengamatan dilakukan dengan menggunakan prosedur model Varian Analisis (SAS Institute). Data rata-rata antar perlakuan dibedakan dengan prosedur perbandingan LSD pada taraf nyata 1% dan 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Asam Organik dan Kelatisasi Al^{3+}

Akar tiga spesies *Brachiaria* (BD, BR dan BB) mengeksudasi asam-asam organik berat molekul rendah (asam sitrat, asam oksalat dan asam malat) bila mengalami cekaman Al (Tabel 1). Jumlah asam organik yang dieksudasi akar meningkat dengan bertambahnya konsentrasi Al di dalam kultur pasir (korelasi positif dengan $R^2 > 0,95$). Pada kultur pasir tanpa Al (Al-0), asam-asam organik tidak terukur (tu). Dari tiga asam organik terukur, konsentrasi asam malat menunjukkan yang tertinggi.

Tabel 1. Konsentrasi asam organik eksudat akar tiga spesies *Brachiaria* umur 2 bulan di dalam kultur pasir yang diperlakukan dengan berbagai konsentrasi Al

	Asam Organik (µM)		
	Asam sitrat	Asam oksalat	Asam malat
BD (*B. decumbens*)			
Al-0	tu	tu	tu
Al-100	7,3 d	39,7 d	57,8 d
Al-200	21,0 c	78,1 c	108,8 c
Al-300	23,3 ab	108,1 b	136,5 b
Al-400	30,1 a	143,3 a	211,0 a
Rata-rata	16,9	73,8	102,8
LSD 0,05	8,2	16,9	19,6
BR (*B. ruziziensis*)			
Al-0	tu	tu	tu
Al-100	8,2 d	40,4 d	63,1 d
Al-200	18,4 c	70,4 c	98,8 c
Al-300	28,8 b	117,6 b	149,1 b
Al-400	32,2 a	135,1 a	213,7 a
Rata-rata	17,5	72,7	104,9
LSD 0,05	5,3	6,9	13,9
BB (*B. brizantha*)			
Al-0	tu	tu	tu
Al-100	6,9 d	29,2 d	47,9 d
Al-200	19,1 c	69,4 c	100,3 c
Al-300	27,7 ab	113,2 b	153,3 b
Al-400	36,3 a	153,9 a	203,4 a
Rata-rata	18,0	73,1	101,0
LSD 0,05	9,8	18,7	27,0

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut LSD, tu= tidak terukur.

Al-organik yang terukur pada kultur pasir (Tabel 2) menunjukan bahwa asam organik eksudat akar tiga spesies *Brachiaria* efektif mengkelat Al. Rata-rata

Al-organik terukur di dalam kultur pasir yang diperlakukan dengan konsentrasi Al dan di tanami BD, BR dan BB masing-masing adalah 60,5, 71,3 dan 59,1 µM. Asam-asam organik eksudat akar BD dan BR lebih efektif mengkompleks Al pada konsentrasi Al relatif rendah (100 µM) yaitu masing-masing membentuk Al-organik 59,6 dan 52,6 µM (Tabel 2) atau setara dengan nisbah Al-organik terhadap konsentrasi Al-larut masing-masing 60% dan 53%. Sedangkan asam-asam organik eksudat akar BB lebih efektif mengkelat Al pada perlakuan konsentrasi Al lebih tinggi (400 µM), yaitu membentuk Al-organik 149,2 µM atau setara dengan nisbah Al-organik terhadap konsentrasi Al-larut sekitar 37%.

Tabel 2. Konsentrasi Al-organik di dalam kultur pasir yang diberi konsentrasi Al berbeda dan ditanami rumput BD, BR dan BB

Konsentrasi Al (µM)	Al-Organik (µM)			
	Tanpa *Brachiaria*	BD	BR	BB
0	4,07	3,3 e	6,7 e	7,8 d
100	1,85	59,6 c	52,6 d	16,5 cd
200	4,07	45,4 d	122,6 a	25,4 c
300	2,96	99,6 a	75,6 c	96,8 b
400	5,00	78,8 b	99,1 b	149,2 a
Rata-rata	3,95	60,5	71,3	59,1
LSD 0,05		10,66	20,57	11,25

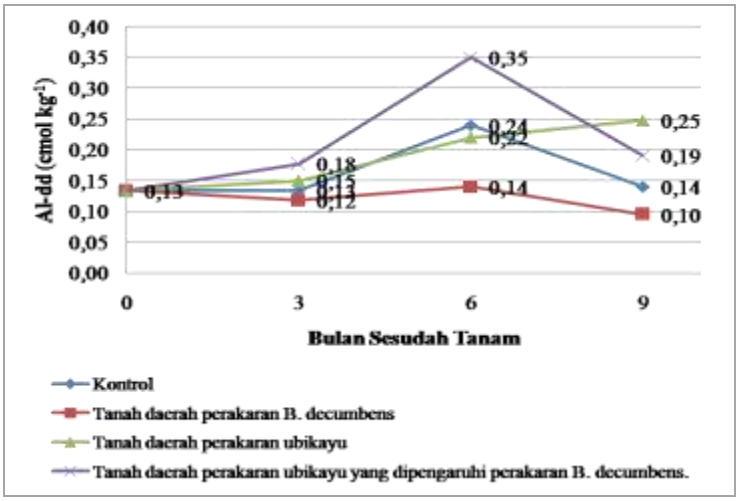
Keterangan : Angka pada kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut LSD

Pengaruh Asam-Asam Organik Eksudat Akar *Brachiaria* terhadap Al-dd di dalam Tanah

Pada waktu 6 BST, Al-dd tanah di semua tempat yang diamati meningkat, meskipun demikian Al-dd tanah di daerah perakaran BD (0,14 cmol kg^{-1}), 41,5% lebih rendah dibanding Al-dd tanah tanpa perlakuan (0,24 cmol kg^{-1}). Al-dd tanah yang dipengaruhi perakaran ubikayu dan BD (0,35 cmol kg^{-1}) lebih tinggi 42,1% dan Al-dd tanah di daerah perakaran ubikayu sendiri lebih rendah sekitar 9,6% dibanding Al-dd tanah kontrol (0,24 cmol kg^{-1}) (Gambar 1).

Pada waktu 9 BST, Al-dd tanah cenderung kembali turun (Gambar 1). Al-dd yang terus meningkat adalah Al-dd tanah daerah perakaran ubikayu, yaitu meningkat sampai 73,3% (0,25 cmol kg^{-1}) dari Al-dd tanah kontrol (0,14 cmol kg^{-1}). Sedangkan Al-dd tanah yang dipengaruhi perakaran ubikayu dan perakaran BD

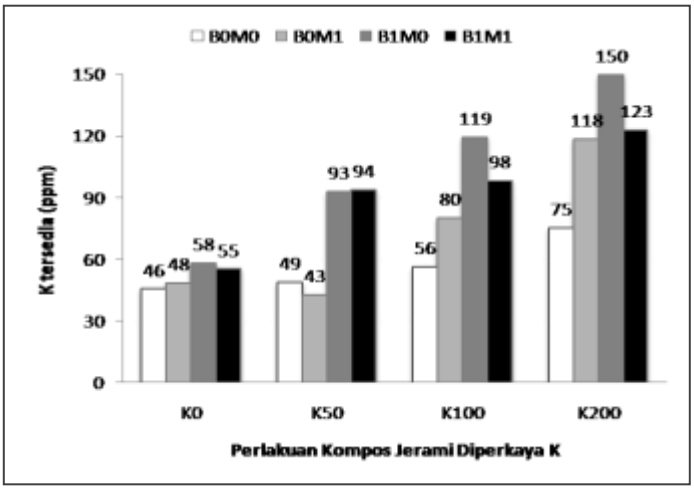
yang pada waktu 6 BST naik cukup tajam (42,1%), kembali turun meskipun tetap sedikit lebih tinggi (0,19 cmol kg^{-1}) dibanding Al-dd tanah kontrol (0,14 cmol kg^{-1}). Al-dd tanah daerah perakaran BD (0,10 cmol kg^{-1}) lebih rendah sekitar 33,3 % dibanding Al-dd tanah kontrol.



Gambar 1. Al-dd (cmol kg^{-1}) tanah daerah perakaran BD, ubikayu, tanah daerah perakaran ubikayu yang dipengaruhi perakaran BD serta tanah tanpa pengaruh perlakuan (kontrol) saat 0, 3, 6 dan 9 bulan sesudah tanam (BST) pada percobaan di Kanhapludult Kebun Percobaan Tegineneng BPTP Lampung.

Ketersediaan Kalium Tanah

Kadar K tersedia pada tanah yang diberi kompos jerami padi yang tanpa dan diperkaya 50 (K50), 100 (K100) dan 200 (K200) kg KCl ha^{-1} (Gambar 2) terukur lebih banyak bila dipengaruhi oleh BD (B1M0) (58-150 ppm), interaksi BD dan AM (B1M1) (55-123 ppm), dan AM (B0M1) (43-118 ppm). Kompos jerami (2 ton ha^{-1}) tanpa interaksi dengan BD dan AM (B0M0) kurang efektif dalam memelihara ketersediaan K di dalam tanah.



Gambar 2. Ketersediaan K sebagai pengaruh BD (B1M0), AM (B0M1) dan interaksi BD dan AM (B1M1) pada tanah yang diberi kompos jerami diperkaya 0, 50, 100 dan 200 kg KCl ha^{-1}.

Pertumbuhan dan Hasil Ubikayu

Interaksi tiga faktor perlakuan (BD, AM, dan kompos jerami padi diperkaya kalium) terhadap pertumbuhan dan hasil ubikayu (diameter batang, tinggi tanaman, bobot umbi $pohon^{-1}$ dan jumlah produksi umbi $pohon^{-1}$) tidak berbeda nyata. Namun perlakuan interaksi BD dan AM berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan (diameter batang) dan bobot umbi (Tabel 3). Diameter batang dan bobot umbi ubikayu UJ-5 pada perlakuan BD (B1M0) dan AM (B0M1) lebih baik dibanding kontrol (B0M0). Demikian pula bobot umbi pada perlakuan interaksi BD dan AM (B1M1) juga lebih banyak dan berbeda nyata dengan perlakuan B0M0.

Pengaruh interaksi BD dan kompos jerami padi diperkaya kalium dan interaksi AM dengan kompos jerami padi diperkaya kalium terhadap pertumbuhan dan hasil ubikayu tidak berbeda nyata, namun perlakuan kompos jerami padi diperkaya kalium 50, 100 dan 200 kg KCl ha^{-1} berpengaruh nyata terhadap peningkatan hasil ubikayu (bobot umbi) yaitu masing-masing dapat meningkatkan hasil ubikayu sekitar 8%, 12% dan 14% dari pada hasil ubikayu pada perlakuan kompos jerami padi tanpa pengayaan kalium (K0) (Tabel 3).

Tabel 3. Diameter batang, bobot umbi dan jumlah umbi pohon^{-1} ubikayu varitas UJ-5 sebagai pengaruh perlakuan BD, AM dan kompos jerami padi diperkaya kalium pada percobaan di Lab lapang Kebun Percobaan Tegineneng BPTP Lampung

Perlakuan		Kompos Jerami Padi Diperkaya K (KCl)				BxM**)
		0 kg ha^{-1}	50 kg ha^{-1}	100 kg ha^{-1}	200 kg ha^{-1}	
		Umbi (kg pohon^{-1})				
Tanpa BD	Tanpa AM	6,6	6,8	7,3	7,8	7,1 b
	Dengan AM	7,8	8,7	9,0	9,6	8,8 a
Dengan BD	Tanpa AM	8,1	8,1	8,2	8,2	8,2 a
	Dengan AM	6,9	8,3	8,5	8,2	8,0 a
K*)		7,4 b	8,0 a	8,3 a	8,4 a	
		Diameter batang (cm)				
Tanpa BD	Tanpa AM	2,29	2,30	2,37	2,52	2,37 b
	Dengan AM	2,45	2,68	2,70	2,73	2,64 a
Dengan BD	Tanpa AM	2,67	2,70	2,64	2,45	2,62 a
	Dengan AM	2,17	2,40	2,48	2,60	2,41 ab
K		2,39	2,52	2,55	2,58	
		Jumlah Umbi pohon^{-1}				
Tanpa BD	Tanpa AM	23,0	23,7	24,3	20,7	22,9
	Dengan AM	27,3	29,7	21,7	23,3	25,5
Dengan BD	Tanpa AM	19,0	24,7	26,7	28,7	24,8
	Dengan AM	21,7	25,3	27,7	28,3	25,8
K		22,8	25,8	25,1	25,3	

Keterangan: *) Angka pada baris yang sama untuk variabel yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut LSD.

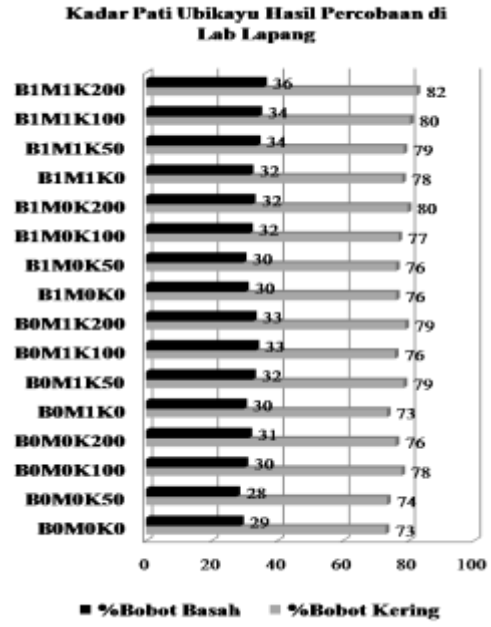
**) Angka pada kolom yang sama untuk variabel yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut LSD

B=BD, M=AM dan K= Kompos jerami diperkaya kalium

Kadar pati

Histogram pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa kadar pati ubikayu cenderung meningkat oleh perlakuan interaksi BD, AM dan kompos jerami diperkaya 100 dan 200 kg KCl ha^{-1} (B1M1K100 dan B1M1K200). Sidik ragam mendapatkan perlakuan BD dan AM serta interaksi keduanya berpengaruh nyata terhadap kadar pati umbi (Tabel 4). Kadar pati umbi dalam % BK pada perlakuan BD (B1M0) dan AM (B0M1) serta interaksi keduanya (B1M1) lebih tinggi dan berbeda nyata dari pada kadar pati umbi pada perlakuan B0M0. Untuk kadar pati dalam %BB hanya kadar pati pada perlakuan AM (B0M1) dan interaksi BD dan AM (B1M1) yang berbeda nyata dengan kadar pati perlakuan B0M0 (Tabel 4).

Kadar pati umbi (kg pohon^{-1}) didapatkan lebih tinggi pada ubikayu yang diperlakukan dengan tanaman sela BD dan inokulasi AM atau interaksi keduanya (B1M1). Perlakuan kompos jerami padi diperkaya kalium 100 dan 200 kg KCl ha^{-1} didapatkan juga berpengaruh lebih baik terhadap kadar pati umbi dan berbeda nyata dengan kadar pati umbi pada perlakuan kompos tanpa pengayaan K (K0) (Tabel 4).



Gambar 3. Kadar pati ubikayu varitas UJ-5 sebagai pengaruh perlakuan interaksi BD AM dan kompos jerami padi diperkaya 0 (K0), 50 (K50), 100 (K100) dan 200 (K200) kg KCl ha^{-1} pada percobaan di Lab lapang (Kanhapludult) Kebun Percobaan Tegineneng BPTP Lampung.

Semakin tinggi konsentrasi Al di dalam kultur pasir semakin banyak asam-asam organik dieksudasi akar *Brachiaria* adalah sejalan dengan hasil penelitian Jorge dan Arruda (1997); Pineros *et al*. (2005) yaitu tanaman yang toleran Al akan mengekskresi asam-asam organik lebih banyak pada konsentrasi Al yang lebih tinggi. Asam malat yang dieksudasi akar *Brachiaria* lebih banyak juga mendukung hasil penelitian Ryan *et al.* (1995); Zhang *et al.* (2003) yang mendapatkan eksudat akar tanaman famili *gramineae* seperti *wheat* (gandum), menghasilkan lebih banyak asam malat.

Terukurnya Al-organik pada media pasir menunjukan bahwa asam malat, asam sitrat dan asam oksalat yang dieksudasi perakaran *Brachiaria* mampu mengkelat Al.

Seperti dilaporkan Dynes dan Huang (1997), asam-asam organik dengan berat molekul rendah mampu mengkompleks Al dengan senyawa kompleks sitrat-Al dinilai lebih stabil dibanding oksalat-Al dan malat-Al. Kekuatan kelatisasi itu dapat dilihat dari nilai konstanta stabilitas ($K_{Al\text{-}L}$) sitrat-Al (log $K_{Al\text{-}L}$ 8,52) > oksalat-Al (log $K_{Al\text{-}L}$ 6,28) > malat-Al (log $K_{Al\text{-}L}$ 5,80).

Tabel 4 Kadar pati ubikayu varitas UJ-5 dan total pati pohon^{-1} sebagai pengaruh interaksi BD, AM dan kompos jerami padi diperkaya kalium pada percobaan di Lab lapang Kebun Percobaan Tegineneng BPTP Lampung

Perlakuan		Kompos Jerami Padi Diperkaya K (KCl)				BxM**)
		0 kg KCl ha^{-1}	50 kg KCl ha^{-1}	100 kg KCl ha^{-1}	200 kg KCl ha^{-1}	
		Pati (% Bobot basah)				
Tanpa BD	Tanpa AM	28,8	27,6	30,1	31,3	29,5 c
	Dengan AM	29,7	32,4	33,5	32,7	32,1 ab
Dengan BD	Tanpa AM	30,3	29,6	31,5	32,3	30,9 bc
	Dengan AM	31,7	33,9	34,3	35,8	33,9 a
K*)		30,1 d	30,9 c	32,4 b	33,0 a	
		Pati (% Bobot kering)				
Tanpa BD	Tanpa AM	73,1	73,5	77,9	76,1	75,2 c
	Dengan AM	73,5	78,5	75,9	79,1	76,7 b
Dengan BD	Tanpa AM	76,3	76,3	77,0	79,8	77,3 b
	Dengan AM	78,1	78,6	80,5	82,5	79,9 a
K*)		75,2 c	76,7 bc	77,8 ab	79,4 a	
		Total pati (kg pohon^{-1})				
Tanpa BD	Tanpa AM	1,90	1,88	2,19	2,43	2,10 b
	Dengan AM	2,31	2,81	3,02	3,12	2,82 a
Dengan BD	Tanpa AM	2,46	2,41	2,59	2,64	2,52 a
	Dengan AM	2,20	2,80	2,93	2,92	2,71 a
K*)		2,22 c	2,47 b	2,68 a	2,78 a	

Keterangan: **)Angka pada kolom yang sama untuk variabel yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut LSD.

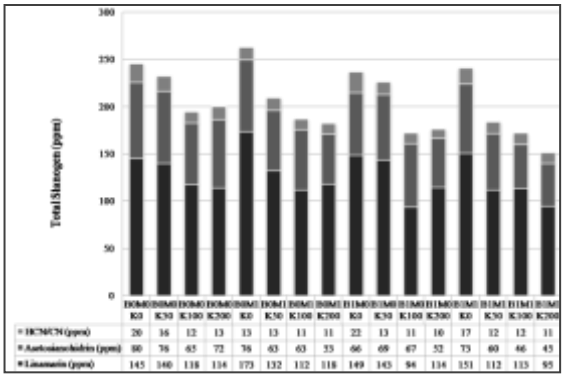
*) Angka pada baris yang sama untuk variabel yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut LSD

B=BD, M=AM dan K= Kompos jerami padi diperkaya kalium

Kadar senyawa sianogen (*cyanogenic glucosides*)

Kandungan senyawa sianogen yaitu linamarin, asetonsianohidrin dan HCN CN^{-1} dan sianogen total di dalam ubikayu terlihat bergantung pada konsentrasi K

yang ditambahkan ke kompos jerami padi (Gambar 4). Semakin banyak kalium di dalam kompos jerami, semakin turun kadar senyawa sianogen di dalam umbi ubikayu. Dari hasil sidik ragam diketahui perlakuan kompos jerami padi diperkaya kalium (Tabel 5) dan perlakuan BD (Tabel 6) berpengaruh nyata terhadap senyawa sianogen total di dalam ubikayu. Perlakuan kompos jerami padi diperkaya K juga berpengaruh nyata terhadap kadar linamarin dan HCN CN^{-1} di dalam senyawa sianogen tersebut (Tabel 5).



Gambar 4. Senyawa sianogen (linamarin, asetonsianohidrin dan HCN CN^{-1}) ubikayu UJ-5 sebagai respon terhadap perlakuan interaksi BD, AM dan kompos jerami diperkaya 0 (K0), 50 (K50), 100 (K100), 200 (K200) kg KCl ha^{-1} pada percobaan di Lab lapang Kebun Percobaan Tegineneng BPTP Lampung.

Tabel 5 Sianogen total, linamarin, asetonsianohidrin dan HCN CN^{-1} di dalam ubikayu hasil percobaan di Lab lapang Kebun Percobaan Tegineneng BPTP Lampung sebagai pengaruh dari interkasi perlakuan BD, AM dan kompos jerami padi diperkaya 0, 50, 100 dan 200 kg KCl ha^{-1}

Perlakuan		Kompos Jerami Padi Diperkaya K (KCl)				BxM
		0 kg ha^{-1}	50 kg ha^{-1}	100 kg ha^{-1}	200 kg ha^{-1}	
		Sianogen total (ppm)				
Tanpa BD	Tanpa AM	245	232	194	200	218
	Dengan AM	262	209	187	182	210
Dengan						
	Tanpa AM	236	226	172	176	202
	Dengan AM	241	184	172	151	187
K*)		246 a	213 b	181 c	177 c	

Tabel 5. Sianogen total, linamarin, asetonsianohidrin dan HCN CN^{-1} di dalam ubikayu hasil percobaan di Lab lapang Kebun Percobaan Tegineneng BPTP Lampung sebagai pengaruh dari interkasi perlakuan BD, AM dan kompos jerami padi diperkaya 0, 50, 100 dan 200 kg KCl ha^{-1} *(lanjutan)*

Perlakuan		Kompos Jerami Padi Diperkaya K (KCl)				BxM
		0 kg ha^{-1}	50 kg ha^{-1}	100 kg ha^{-1}	200 kg ha^{-1}	
		Linamarin (ppm)				
Tanpa BD	Tanpa AM	145	140	118	114	129
	Dengan AM	173	132	112	118	134
Dengan						
	Tanpa AM	149	143	94	114	125
	Dengan AM	151	112	113	95	118
K*)		154 a	132 ab	109 b	110 b	
		Asetonsianohidrin (ppm)				
Tanpa BD	Tanpa AM	80,2	76,0	64,7	72,5	73,4
	Dengan AM	75,8	63,4	63,2	53,1	63,9
Dengan BD	Tanpa AM	65,9	69,1	67,1	51,9	63,5
	Dengan AM	73,3	59,6	46,3	44,9	56,0
K		73,8	67,0	60,3	55,6	
		HCN CN^{-1} (ppm)				
Tanpa BD	Tanpa AM	19,8	15,8	12,1	13,5	15,3
	Dengan AM	13,1	13,5	11,3	11,1	12,2
Dengan BD	Tanpa AM	21,8	13,1	11,3	9,7	14,0
	Dengan AM	16,6	12,5	12,1	11,5	13,2
K*)		17,8 a	13,7 ab	11,7 b	11,4 b	

Keterangan: *) Angka pada baris yang sama untuk variabel yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut LSD.
B=BD, M=AM dan K= Kompos jerami diperkaya kalium

Tabel 6. Sianogen total, linamarin, asetonsianohidrin dan HCN CN^{-1} di dalam ubikayu hasil percobaan di Lab lapang Kebun Percobaan Tegineneng BPTP Lampung

Perlakuan	Percobaan Lab. Lapang			
	Sianogen Total (ppm)	Linamarin (ppm)	Aseton sianohidrin (ppm)	HCN CN^{-1}
	BD (Brachiaria decumbens)			
Tanpa BD	214 a	131	68,6	13,8
Dengan BD	195 b	121	49,8	13,6
LSD 0,05	19,0			
	AM (arbuscular mycorrhiza)			
Tanpa AM	210	127	68,4	14,6
Dengan AM	198	125	59,9	12,7
LSD 0,05				

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut LSD.

Meskipun BB efektif mengkelat Al pada konsentrasi ion Al^{3+} lebih tinggi (400 μM), namun untuk detoksi Al pada tanah-tanah masam BD dinilai lebih efektif karena selain toleran Al, spesies ini dibanding BB juga lebih toleran tanah miskin (Fischer *et al.* 2001) dan kondisi stres air. Selain itu konsentrasi Al^{3+} di dalam larutan tanah masam pH 4,3-5 hanya kisaran 10–50 μM (Prabowo 1998; Wenzl *et al.* (2003).

Senyawa-senyawa organik eksudat akar BD yang efektif mengkelat Al^{3+} mampu menurunkan Al-dd di dalam tanah 33%. Al^{3+} yang dikelat dan juga diakumulasi di dalam jaringan daun (pengamatan terpisah) membuat kesetimbangan konsentrasi Al^{3+} di dalam larutan tanah dengan Al^{3+} pada komplek jerapan terganggu. Untuk kembali mencapai kesetimbangan, maka sebagian Al-dd pada komplek jerapan keluar ke larutan tanah menggantikan Al yang dikelat asam organik dan diserap akar BD. Hal itu menyebabkan kadar Al-dd pada komplek jerapan menurun.

Peningkatan Al-dd yang cukup tajam saat 6 BST pada tanah daerah perakaran ubikayu yang dipengaruhi perakaran BD merupakan kontribusi dari Al di dalam pangkasan daun BD (± 287 ppm) yang disebarkan di sekeliling pangkal batang ubikayu setiap kali pemangkasan daun BD (setiap 30 hari) pada perlakuan penanaman BD tersebut. Pada saat 9 BST Al-dd tanah perlakuan tersebut kembali turun. Diprediksi sebagian besar pangkasan daun BD yang dikembalikan ke tanah saat 9 BST telah melapuk sempurna dan salah satu produknya yaitu senyawa asam organik aromatik berkemampuan kembali mengkelat Al. Menurut Martin dan Waksman, 1942, diacu dalam Abiven *et al.* (2009), bahwa untuk mencapai pengaruh maksimum terhadap sifat-sifat tanah, bahan organik seperti residu *alfalfa* dan jerami gandum (*wheat*) memerlukan waktu sampai 210 hari.

Peningkatan Al-dd tanah yang cukup tinggi pada 6 BST di dalam semua contoh tanah kemungkinan disebabkan kondisi curah hujan yang masih relatif tinggi. Curah hujan tinggi diperkirakan mendorong pelepasan kation dari kisi-kisi mineral liat. Sementara itu peningkatan Al-dd sampai 73% pada tanah zona perakaran ubikayu tanpa pengaruh BD saat 9 BST antara lain disebabkan asam sianida yang dieksudasi oleh umbi ubikayu mendorong pelapukan mineral sehingga Al keluar dari kisis-kisi mineral dan menjadi Al-dd.

Keuntungan dari penanaman BD selain eksudat akarnya memperbaiki sifat-sifat tanah (Agbenin & Adeniyi 2005), pangkasan daun BD yang dikembalikan ke tanah mengandung kalium yang cukup tinggi. Pengembalian pangkasan daun segar BD sebanyak rata-rata 0,55 kg bulan^{-1} ke sekeliling pangkal batang 1 pohon ubikayu adalah sama artinya dengan pengembalian 9 g K ke 1 pohon ubikayu dalam 6 bulan (kandungan K di dalam pangkasan daun kering 6,2-15 g kg^{-1}) atau mengembalikan sekitar 72 kg K ha^{-1} ke tanah selama 1 musim tanam ubikayu. Proses ini dianggap sebagai salah satu cara untuk mengendalikan kehilangan K tanah oleh pencucian. Sementara itu asam malat dan asam sitrat yang dieksudasi akar BD juga mampu melepaskan K tidak dapat dipertukarkan di dalam mineral liat menjadi K dapat dipertukarkan (Rao *et al.* 1997), sehingga K tersedia di dalam tanah meningkat.

Pertumbuhan, hasil dan mutu hasil ubikayu yang lebih baik setelah diperlakukan dengan BD dan AM dan interaksi keduanya merupakan respon terhadap perbaikan kualitas tanah masam yang dilakukan oleh bahan-bahan tersebut. Seperti peningkatan ketersediaan K, pengayaan C- organik tanah dan perbaikan serapan hara. Perlakuan pengayaan kompos jerami padi dengan 50, 100 dan 200 kg KCl ha^{-1} berpengaruh nyata terhadap perbaikan pertumbuhan, hasil dan peningkatan kadar pati dan penurunan kandungan senyawa sianogen ubikayu. Hasil tersebut sesuai dengan yang dikemukakan Suyamto (1998); El-Sharkawy dan Cadavid (2000); Howeler (2002); bahwa kecukupan kalium merupakan salah satu faktor kunci untuk perbaikan mutu hasil ubikayu.

Peningkatan 13% (BK) kadar pati dan penurunan 42% senyawa sianogen total ubikayu pada perlakuan B1M1K200 menunjukan bahwa mutu ubikayu dapat diperbaiki dengan memperbaiki cara pengelolaan tanaman atau lahan.

KESIMPULAN

Asam malat, asam sitrat dan asam oksalat dari eksudat akar *B. decumbens*, *B. ruziziensis* dan *B. brizantha*, pada kultur pasir efektif mengkelat ion Al; demikian pula pada tanah masam, eksudat akar *B. decumbens* mampu menurunkan Al dapat ditukar (Al-dd) di dalam tanah.

Walaupun kandungan Al-dd di dalam tanah meningkat selama pertumbuhan ubikayu, namun setelah pertanaman ubikayu dikombinasikan dengan *Brachiaria* sp., Al-dd di dalam tanah dapat diturunkan melalui proses kelatisasi.

Perbaikan kualitas tanah masam sebagai akibat dari perlakuan yang dicobakan, yang dicerminkan oleh selain penurunan Al-dd, tetapi juga oleh peningkatan kalium tersedia di dalam tanah, meningkatkan produksi, kadar pati dan menurunkan senyawa sianogen ubikayu.

DAFTAR PUSTAKA

Abiven S, Menasseri S, Chenu C. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability-A literature analysis. *Soil Biol Biochem* 41: 1–12.

Agbenin JO, Adeniyi T. 2005. The microbial biomass properties of a savanna soil under improved grass and legume pastures in northern Nigeria. *Agri Eco Environ* 109: 245–254.

Angeles OR, Johnson SE, Buresh RJ. 2006. Soil solution sampling for organic acids in rice paddy soils. *Soil Sci Soc Am J* 70:48–56.

Dynes JJ. Huang PM. 1997. Influence of organic acid on selenite sorption by poorly ordered aluminum hydroxides. *Soil Sci Soc Am J* 6: 772-783.

El-Sharkawy MA, Cadavid LF. 2000. Genetic variation within cassava germplasm in response to potassium. *Camb J* 36: 323-334.

Fanindi A, Prawiradiputra BR. 2005. Karakterisasi dan pemanfaatan rumput Brachiaria Sp. Dalam: *Lokakarya Nasional Tanaman Pakan Ternak*. Bogor : 16 September 2005 . Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan hal. 154-161

Fischer AJ, Ramirez HV, Gibson KD, Pinheiro BDS. 2001. Competitiveness of semidwarf upland rice cultivar again palisadegrass (*Brachiaria brizantha*) and signalgrass *(Brachiaria decumbens*). *Agron J* 93:967-973.

Harris D, Horwath WR, van Kessel C. 2001. Acid fumigation of soils to remove carbonates prior to total organic carbon or carbon-13 isotopic analysis. *Soil Sci Soc Am J* 65:1853–1856.

Hidayat A, Damardjati DS. 2003. *Uji Cepat Sianida pada Umbi dan Tepung Ubikayu*. Balai Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian.

Howeler RH. 2002. Cassava mineral nutrition and fertilization. Di dalam: Hillocks RJ, Thresh JM, Belloti AC, editor. *Cassava:Biology, Production and Utilization*. CAB International. hlm 115-147.

Husson *et al*. 2003. Impacts Of Direct Planting On Permanent Soil Cover (Dppsc) Techniques On Soil Biological Activity In Northern Vietnam.

CIRAD/GEC, Montpellier, France. Vietnam Agricultural Sciences Institute, Hanoi, Vietnam.

Jorge RA, Arruda P. 1997. Aluminium-induced organic acid exudation by roots of an aluminium-tolerant tropical maize. *Phytochem*. 45 (4): 675-681.

Nakviroj *et al*. 2005. Cassava longterm fertility experiments in Thailand. http://www.ciat.cgiar.org/asia_cassava/pdf/proceedings_workshop_02/212.pdf [3 Mar 2008].

Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *J Biol Chem* 153: 375-80.

Oburger E, Kirk GJD, Wenzel WW, Puschenreiter M, Jones DL. 2009. Interactive effects of organic acids in the rhizosphere. *Soil Biol Biochem* 41: 449–457.

Pineros MA,. Shaff JE, Manslank HS, Alves VMC, Kochian LV. 2005. Aluminum Resistance in Maize Cannot be Solely Explained by Root Organic Acid Exudation. *Plant Physiol* 137: 231–241.

Prabowo AM. 1998. Reaksi Kimia Asam Malat dan Peranannya Sebagai Pencegah Keracunan Aluminium pada Tanah-Tanah Masam. *J Agrivita* 20 (1): 27-33.

Rao TP, Yano K, Iijima M, Yamauchi A, Tatsumi J. 2002. Regulation of rhizozphere acidification of photosyntheic activity in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) seedling. *Annal of Botany* 89:213-220.

Rillig, M. C. 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Can. J. Soil Sci.* 84: 355–363.

Ryan PR, Delhaize E, Randall PJ. 1995. Malate efflux from root apices: evidence for a general mechanism of Al-tolerance in wheat. *Aust J Plant Physiol* 22**:** 531–536.

Sequi P, Aringhieri R. 1977. Destruction of organic matter by hydrogen peroxide in the presence of pyrophosphate and its effecton soil specific surface area. *Soil Sci Soc Am J.* 41:340–342.

Suyamto, H. 1998. Potassium increase cassava yield in alfisol soils. *Bett. Crops Int*. 12(2): 12-13.

Wargiono J. 2003. Pemupukan NPK dan Sistem Tanam Ubikayu pada Tanah Ultisol Lampung. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 22 (2): 114-120.

Wenzl P, Mancilla LI, Mayer JE, Albert R, Rao IM. 2003. Simulating infertile acid soils with nutrient solutions:the effects on *Brachiaria* species. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1457–1469.

Zhang XG, Jessop RS, Alter D. 2003. Organic acid exudation associated with aluminium stress tolerance in triticale and wheat. *Aust J Agr Res* 54: 979-985.

PERUBAHAN KOMUNITAS SEMUT PADA PERTANAMAN KAKAO SERTA IMPLIKASINYA TERHADAP KEBERADAAN HAMA DAN PENYAKIT: ADAKAH PENGARUH IKLIM?

(Changes of Ant Communities in Cacao Agroforestry System and Its Implications Toward Pest and Disease Incidence : Climate Change Effect?)

Damayanti Buchori, Akhmad Rizali, Adha Sari
Dep. Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB

ABSTRAK

Memahami pengaruh gangguan habitat dan perubahan iklim terhadap komunitas semut merupakan aspek yang sangat penting dalam pengelolaan hama dan penyakit di perkebunan kakao. Hal tersebut karena semut memiliki peranan sangat penting yaitu sebagai predator pengendali hama pada tanaman kakao. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh perubahan habitat dan perubahan iklim terhadap komunitas semut pada perkebunan kakao di Sulawesi Tengah. Penelitian ini merupakan penelitian monitoring yang merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya dari proyek penelitian STORMA (*Stability of the Rainforest Margin*). Lokasi penelitian merupakan perkebunanan kakao yang terletak disekitar Taman Nasional Lore Lindu, Sulawesi Tengah dan merupakan plot-plot penelitian dari peneliti-peneliti sebelumnya yaitu 12 plot di Kecamatan Palolo (oleh Meldy Hosang tahun 2001) dan 12 plot di Kecamatan Kulawi (oleh Merijn Bos tahun 2003). Di setiap plot, semut dikoleksi dengan menggunakan metode yang sama dengan peneliti sebelumnya yaitu menggunakan metode pengasapan (*fogging*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa keanekaragaman semut pada perkebunanan kakao antara tahun 2001, 2003 dan 2009 berbeda baik dalam hal keanekaragaman jenis maupun komposisi spesiesnya. Di Palolo, terjadi penurunan jumlah spesies semut yang sangat signifikan, sedangkan di Kulawi cenderung tetap. Sebaliknya, terjadi perubahan komposisi dan dominasi spesies semut di Kulawi. Perubahan yang terjadi di Kulawi, mengindikasikan bahwa perubahan suhu (iklim) berperan penting dalam mempengaruhi perubahan komposisi spesies semut. Hal ini karena kondisi habitat di Kulawi tidak banyak mengalami perubahan bila dibandingkan dengan di Palolo. Perubahan suhu juga diduga menyebabkan perubahan dominasi spesies semut pada perkebunan kakao. Spesies semut invasif, *Philidris cordata*yang tidak ditemukan pada penelitian sebelumnya, menjadi spesies semut yang paling dominan di Kulawi. Keberadaan *P. cordata* pada perkebunan kakao memiliki dampak negatif karena berperan sebagai vektor penyakit dan berpotensi sebagai hama.

Kata kunci : Komunitas semut, pengasapan, perubahan iklim, gangguan habitat, *Philidris cordata.*

ABSTRACT

Understanding the effects of habitat disturbance and climate change on ant communities are the important aspects in management pests and diseases in cacao agroforestry systems. This is due to ants play important role as predator of cacao pests. The objective of this research is to study the effects of habitat disturbance and climate change on ant communities in cacao agroforestry in Central Sulawesi, Indonesia. As monitoring research, the research sites were the same plots of previous research project of STORMA (Stability of the Rainforest Margin)that located in cacao agroforestry around Lore Lindu National Parki.e. 12 plots in PaloloValley (by MeldyHosang in 2001) and 12 plots in

KulawiValley (by MerijnBosin 2003). Ants were resampled using fogging method which was the same methods from previous research. The results found that ant diversity and ant species composition differed between 2001, 2003 and 2009. Ant diversity showed significantly decrease in Palolo, but not in Kulawi. In contrast, ant species compositionsignificantly changed in Kulawi. The alteration of ant species composition in Kulawiindicated that temperature increase (climate)is important factor affect this alteration. This is due to slight change of habitat condition in Kulawi. In addition, temperature increase also expected affects ant domination in cacao agrorestry. The invasive species, *Philidriscordata*which had not been recorded in previous research become the most dominant ant in Kulawi. The occurrence of*P. cordata* in cacao agroforestry has negative impact due to as disease vector and also potential as pest.

Keywords : Ant communities, fogging, climate change, habitat disturbance, *Philidriscordata*.

PENDAHULUAN

Perubahan penggunaan lahan dan perubahan iklim yang terjadi dewasa ini berpotensi mempercepat lajukepunahan keanekaragaman hayati di Indonesia(Wilcove & Koh 2010; Woodruff 2010). Case *et al.*(2007) melaporkan bahwa 50% keanekaragaman hayati di wilayah Asia Tenggara dalam keadaan terancam sebagai akibat dari perubahan iklim dan tingginya perusakan habitat. Perubahan iklim berupa peningkatan suhu mempengaruhi kemampuan distribusi, reproduksi dan perilaku dari spesies (Lovejoy 2010). Sehingga hanya spesies tertentu yang mampu untuk beradaptasi dengan perubahan tersebut, seperti spesies invasif yang berdampak negatif terhadap spesies lokal (Hellmann *et al.* 2008).Peningkatan suhu juga memfasilitasi keberadaan hama dan penyakit pada habitat pertanian sebagai respon penurunan keanekaragaman spesies yang ada didalamnya (Gornall *et al.* 2010). Perubahan iklim juga memiliki dampak langsung terhadap pertumbuhan tanaman pertanian melalui suhu yang ekstrim, kekeringan, dan intensitas hujan yang tinggi (Gornall *et al.* 2010). Oleh karenanya, produksi pertanian terancam terjadi penurunan sebagai dampak langsung maupun tidak langsung dari perubahan iklim.

Walaupun demikian, sistem pertanian agroforestri ternyata mampu mempertahankan keanekaragaman hayati yang ada di dalamnya dari pengaruh perubahan iklim dan perubahan habitat yang ada disekitarnya. Sistem pertanian agroforestri mampu menjaga kondisi habitat sehingga tahan terhadap perubahan lingkungan (Bhagwat *et al.* 2008). Hanya saja, praktek intensifikasi pertanian

menjadi ancaman terhadap kestabilan habitat yang ada pada sistem agroforestri. Sebagai contoh penghilangan pohon naungan dalam rangka meningkatkan produksi kakao, ternyata berpengaruh negatif terhadap keanekaragaman serangga termasuk musuh alami yang ada di dalamnya (Klein *et al.* 2002). Penghilangan pohon naungan juga mempengaruhi peningkatan keberadaan hama dan penyakit yang merupakan faktor terpenting penyebab penurunan produksi kakao. Sebagai contoh, hama penggerek buah kakao (PBK) *Conopomorpha cramerella*, akibat dari serangannya dapat menimbulkan kerugian hingga mencapai 80% (Wardoyo 1980). Oleh karenanya, berbagai upaya dilakukan pemerintah untuk mencegah dan mengatasi terjadinya penurunan hasil, diantaranya dengan program pengendalian hama terpadu (PHT). Melalui program PHT, penggunaan pestisida sangat diminimalisir guna mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan serangga yang berguna. Pengelolaan habitat dan penggunaan musuh alami merupakan pilihan utama untuk mengendalikan keberadaan hama dan penyakit.

Salah satu musuh alami yang umum digunakan dalam mengendalikan hama dan penyakit kakao adalah semut (Majer 1976; Philpott & Armbrecht 2006). Sebagai contoh*Dolichoderus thoracicus*, spesies semut ini dapat mengendalikan populasi hama *Helopelthis* dan PBK (Way & Khoo 1992)serta efektif pula untuk mencegah terjadinya *outbreak* penyakit *Phytophthora palmivora* pada buah kakao(Khoo & Ho 1992).Walaupun demikian, praktek intensifikasi pertanian dan adanya perubahan iklim, berpotensi kuat mempengaruhi keanekaragaman semut di perkebunan kakao. Hal ini ditunjukkan dengan adanya pengaruh negatif terhadap keanekaragaman serangga termasuk semut yang ditimbulkan sebagai akibat dari intensifikasi pertanian(Klein *et al.* 2002) dan perubahan suhu pada perkebunan kakao(Wielgoss *et al.* 2010). Selain itu, terjadinya perubahan dominasi spesies semutseperti yang terjadi di perkebunan kakao di Sulawesi Tengah. Hasil penelitian Hosang (2004) pada tahun 2001, spesies semut *D. thoracicus* mendominasi area perkebunan kakao, sedangkan penelitian tahun 2007 menunjukkan bahwa semut *Philidriscordata*menjadi yang paling mendominasi (Wielgoss *et al.* 2010). Perubahan yang terjadi disinyalir dapat menurunkan produksi kakao. Hal ini karena *P. cordata* merupakan vektor potensial penyakit *P.*

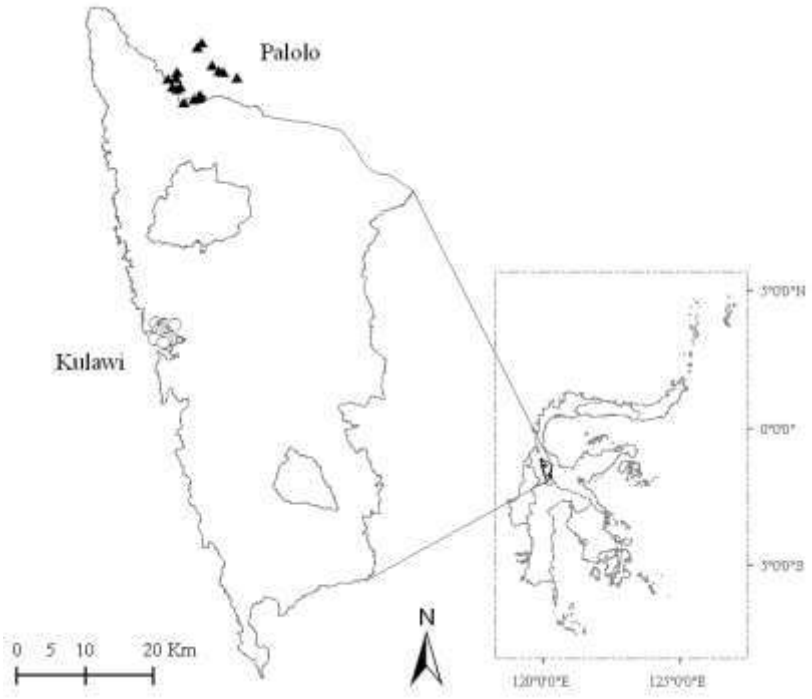
*palmivora*dan keberadaannya juga mempengaruhi keberadaan spesies semut yang lain (Wielgoss *et al.* 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh perubahan habitat dan perubahan iklim terhadap komunitas semut yang ada pada pertanaman kakao di Sulawesi Tengah. Penelitian ini merupakan penelitian monitoring dari penelitian sebelumnya oleh Meldy Hosang pada tahun 2001 (Hosang 2004) dan Merijn Bos pada tahun 2003 (Bos 2006), dibawah payung penelitian STORMA (*Stability of the Rainforest Margin*).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada lokasi penelitian yang sama oleh Hosang (2004) dan Bos (2006). Plot penelitian Hosang di tahun 2001 merupakan perkebunan kakao yang terletak di Kecamatan Palolo, Sulawesi Tengah, berdekatan dengan Taman Nasional Lore Lindu (TNLL) (Gambar 1). Tahun 2001, Hosang melakukan penelitian di 18 plot yang dikategorikan kedalam 3 tipe habitat (1) perkebunan kakao yang terdapat pada pinggiran hutan dan dengan pohon hutan sebagai naungannya, (2) perkebunan kakao diluar hutan dengan naungan pohon *Gliricidia sepium* (dengan jarak <500m) dan (3) jauh dari hutan (>500). Keseluruhan plot penelitian tersebar di 3 desa yaitu Berdikari (B), Sintuwu (S) dan Nopu (N), dengan ketinggian berkisar 600 m hingga 700 m dpl. Pada penelitian ini hanya dilakukan pada 12 plot yang mewakili keseluruhan plot dari penelitian Hosang.

Sedangkan plot penelitian Bos di tahun 2003 merupakan perkebunan kakao yang terletak di Kecamatan Kulawi (Gambar 1). Terdapat 16 plot yang dikategorikan kedalam 4 tipe penggunaan lahan yaitu (1) hutan alam dalam TNLL (A), (2) kakao dengan naungan pohon hutan (B), (3) kakao dengan naungan berbagai jenis tanaman (C), dan (4) kakao dengan naungan satu atau dua jenis tanaman (D). Ketinggian lokasi plot berkisar antara 850 hingga 1100 m dpl. Pada penelitian ini hanya dilakukan pada 12 plot yaitu plot-plot yang terdapat pada perkebunan kakao saja. Hal ini karena penelitian ini hanya memfokuskan pada monitoring spesies semut di perkebunan kakao.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Sulawesi Tengah, perkebunan kakao yang terletak di sekitar Taman Nasional Lore Lindu; Plot di Palolo (segitiga) dan Kulawi (lingkaran).

Penelitian lapangan atau pengambilan sampel semut dan serangga lain dilakukan pada bulan yang sama dengan penelitian sebelumnya yaitu bulan Juli 2009 untuk sampling di Palolo (Hosang 2004) dan bulan Desember 2009 untuk di Kulawi (Bos 2006).

Koleksi semut pada kanopi pohon kakao

Semut dan serangga lain dikoleksi dengan menggunakan metode pengasapan (*fogging*) yang merupakan teknik koleksi serangga yang efektif pada kanopi pohon (Perfecto *et al.* 1997). Pada penelitian ini, insektisida yang digunakan untuk mematikan semut dan serangga lain yang ada pada kanopi pohon kakao adalah Malation. Fogging dilakukan antara pukul 8.00 hingga 9.00 pagi pada setiap plot yang memiliki ukuran dan umur tanaman kakao yang hampir sama. Untuk mengurangi bias kontaminasi spesimen dari kanopi pohon coklat yang lain, semut dan serangga lain dikoleksi pada lembar plastik berukuran 2 m x 2 m dibawah pohon yang difogging. Spesimen yang dikoleksi kemudian disimpan dalam alkohol 70 %, untuk kemudian dilakukan sortir dan identifikasi.

Identifikasi semut dan komparasi dengan spesimen sebelumnya

Semut yang terkoleksi disortir dan diidentifikasi dengan menggunakan kunci identifikasi genera (Bolton 1994). Selanjutnya, semut yang telah teridentifikasi hingga genus dilakukan identifikasi hingga tingkat morfospesies yaitu pembedaan spesies berdasarkan karakter morfologi (Lattke 2000). Beberapa genus dilakukan identifikasi hingga level spesies berdasarkan referensi semut yang ada (www.storma.de/ants, www.antweb.org, dan www.antbase.de).

Untuk bisa dilakukan analisis perbandingan dengan hasil penelitian sebelumnya, dilakukan pengecekan ulang melalui pencocokan antara spesies yang ditemukan pada penelitian sebelumnya yaitu tahun 2001 dan 2003 dengan spesies yang ditemukan pada tahun 2009.

Analisis Data

Perbedaan keanekaragaman semut antara penelitian sebelumnya dan penelitian ini dianalisis dengan analisis ragam (ANOVA). Sedangkan untuk melihat perbedaan komposisi spesies semut digunakan indeks Bray-curtis yang kemudian dianalisis lanjut dengan menggunakan analisis *multidimensional scalling* (MDS) dan analisis kemiripan (ANOSIM). Seluruh analisis dikerjakan dengan menggunakan perangkat lunak *R statistic*(R Development Core Team 2011).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keanekaragaman semut di perkebunan kakao pada tahun yang berbeda

Keanekaragaman semut yang ditemukan pada perkebunan kakao di Palolo dan Kulawi dari tahun 2001 hingga 2009 berjumlah 108 spesies (9 spesies diantaranya belum teridentifikasi hingga tingkat genus) dari 5 subfamili (Tabel 1). Beberapa spesies dominan seperti *P. cordata* dan *Dolichoderus thoracicus*, selalu ditemukan dalam jumlah yang melimpah di Palolo baik pada tahun 2001 maupun 2009. Sedangkan di Kulawi, *P. cordata* yang tidak ditemukan pada tahun 2003 menjadi ditemukan pada tahun 2009 bahkan dalam jumlah yang banyak.

Tabel 1. Perbandingan jenis dan jumlah individu semut yang ditemukan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hosang di tahun 2001 dan Bos di tahun 2003

Spesies	Palolo		Kulawi	
	Hosang (2001)	Buchori (2009)	Bos (2003)	Buchori (2009)
Dolichoderinae				
1. *Dolichoderinae* sp.01	1			
2. *Dolichoderinae* sp.03	4			
3. *Dolichoderus* sp.01		415	466	2391
4. *Dolichoderus* sp.02			24	
5. *Dolichoderus thoracicus*	17.585	43.244		
6. *Philidris cordata*	10.825	21.540		32.549
7. *Tapinoma melanocephalum*		13		4
8. *Tapinoma* sp.01	123	24	70	
9. *Tapinoma* sp.03	1			
10. *Technomyrmex albipes*	937	1810		1572
11. *Technomyrmex* sp.01			3	11
12. *Technomyrmex* sp.02	264			
13. *Technomyrmex* sp.03	4			
14. *Technomyrmex* sp.05	2			
Formicinae				
15. *Anoplolepis gracilipes*	544	206	288	288
16. *Camponotus recticulatus*	9	60	96	14
17. *Camponotus* sp.01	117	48	21	8
18. *Camponotus* sp.02	1		5	
19. *Echinopla lineata*		1	10	13
20. *Oecophylla smaragdina*	12.657	363	26	576
21. *Paratrechina* sp.01	79	84	436	207
22. *Paratrechina* sp.02	1			
23. *Paratrechina* sp.03			140	
24. *Paratrechina* sp.04			10	
25. *Paratrechina sp.05*			4	
26. *Polyrhachis abdominalis*		1		12
27. *Polyrhachis dives*		7		29
28. *Polyrhachis sp.01*	1	40		226
29. *Polyrhachis sp.02*		15		59
30. *Polyrhachis sp.03*	47		8	
31. *Polyrhachis sp.04*	161			2
32. *Polyrhachis sp.05*			123	
33. *Polyrhachis sp.06*	10	62		28
34. *Polyrhachis sp.07*	163	1	30	
35. *Polyrhachis sp.08*	123	1	2	
36. *Polyrhachis sp.09*	9		1	
37. *Polyrhachis sp.10*	3		40	
38. *Polyrhachis sp.11*	1		93	
39. *Polyrhachis sp.13*	1		146	
40. *Polyrhachis sp.14*	3		1	
41. *Polyrhachis sp.15*			2	
42. *Polyrhachis sp.16*	12		104	

Tabel 1. Perbandingan jenis dan jumlah individu semut yang ditemukan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hosang di tahun 2001 dan Bos di tahun 2003*(lanjutan)*

Spesies		Palolo		Kulawi	
		Hosang (2001)	**Buchori (2009)**	**Bos (2003)**	**Buchori (2009)**
43.	*Polyrhachis* sp.17			8	
44.	*Polyrhachis* sp.19	3			
45.	*Polyrhachis* sp.20	6			
46.	*Pseudolasius* sp.01		5		
47.	*Pseudolasius* sp.02		62		36
Myrmicinae					
48.	*Calomyrmex* sp.01	68			
49.	*Calomyrmex* sp.02	1			
50.	*Cataulacus* sp.01			4	
51.	*Crematogaster* sp.01		1013	177	206
52.	*Crematogaster* sp.02			26	
53.	*Crematogaster* sp.03	31	253	96	538
54.	*Crematogaster* sp.04	209			
55.	*Crematogaster* sp.05	161			
56.	*Crematogaster* sp.06	4			
57.	*Crematogaster* sp.07	362			
58.	*Crematogaster* sp.08	4			
59.	*Crematogaster* sp.09	4			
60.	*Linepithema* sp.01	2			
61.	*Monomorium floricola*		54		273
62.	*Monomorium* sp.01		6		
63.	*Monomorium* sp.03	2			
64.	*Monomorium* sp.04	2			
65.	*Monomorium* sp.06	98			
66.	*Paratopula* sp.01			9	
67.	*Paratopula* sp.02			2	
68.	*Pheidole sp.01*	29			
69.	*Pheidole sp.02*			1	1
70.	*Pheidole sp.03*		1		2
71.	*Pheidole sp.04*		6		3
72.	*Pheidologeton sp.02*	2			
73.	*Rhoptromyrmex sp.03*	2			
74.	*Rhoptromyrmex sp.04*	18			
75.	*Solenopsis geminata*				20
76.	*Strumigenys sp.01*				8
77.	*Strumigenys sp.03*	11			
78.	*Tetramorium bicarinatum*		1		3
79.	*Tetramorium pasificum*		31		68
80.	*Tetramorium smithi*		2		
81.	*Tetramorium sp.01*	11		10	1
82.	*Tetramorium sp.02*	12		10	
83.	*Tetramorium sp.03*			5	1
84.	*Tetramorium sp.04*	61			
85.	*Tetramorium sp.05*	2			

Tabel 1. Perbandingan jenis dan jumlah individu semut yang ditemukan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hosang di tahun 2001 dan Bos di tahun 2003 *(lanjutan)*

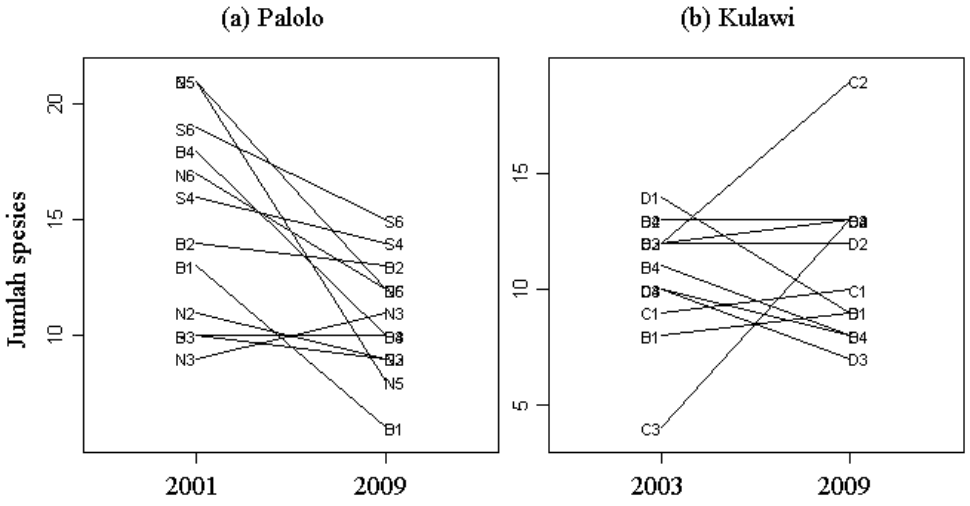
Spesies	Palolo		Kulawi	
	Hosang (2001)	Buchori (2009)	Bos (2003)	Buchori (2009)
86. *Tetramorium* sp.06	1	7		720
87. *Tetramorium* sp.08	4			
88. *Tetramorium* sp.09	1			
Ponerinae				
89. *Gnamptogenys* sp.01			24	
90. *Hypoponera* sp.01	1			
91. *Hypoponera* sp.02	1			
92. *Odontomachus simillimus*	7	1		
93. *Pachycondyla* sp.01	5		1	
94. *Pachycondyla* sp.02	1			
95. *Pachycondyla* sp.04				1
96. *Pachycondyla* sp.x	3			
97. *Platythyrea* sp.01	1			
98. *Ponera* sp.01				1
Pseudomyrmicinae				
99. *Tetraponera* sp.01	12	52	18	13
100. *Tetraponera* sp.02		1		
101. *Tetraponera* sp.03	3			
Belum teridentifikasi				
102. *Formicidae* sp.01	69			
103. *Formicidae* sp.04	4			
104. *Formicidae* sp.08	9			
105. *Formicidae* sp.15	1			
106. *Formicidae* sp.28	1			
107. *Formicidae*sp.36	1			
108. *Formicidae* sp.x			5	

Spesies semut lain seperti beberapa spesies dari genus *Polyrachis*, yang ditemukan pada tahun 2001 dan 2003, menjadi tidak ditemukan kembali pada tahun 2009 (Tabel 1).Tidak diketemukannya kembali beberapa spesies *Polyrachis* dan munculnya *P. cordata* di Kulawi menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan komposisi dan dominasi spesies semut di perkebunan kakao pada tahun yang berbeda.

Pengaruh perubahan ukuran tanaman kakao danperubahan habitat terhadap keanekargaman semut

Keanekaragaman semut di Palolo tahun 2001 (Hosang 2004) berbeda dengan keanekaragaman semut yang ditemukan tahun 2009 (Gambar 2a; $F_{1, 11}$ = 10.930, P = 0.007) dimana keanekaragaman semutnya cenderung menurun pada

masing-masing plot (Gambar 2a). Pola berbeda terlihat pada perkebunan kakao di Kulawi. Perubahan keanekaragaman semut antara tahun 2003 (Bos 2006) dan tahun 2009 terlihat tidak berbeda pada tiap plotnya ($F_{1, 11} = 0.186$, $P = 0.674$). Keanekaragaman semut di tahun 2009 hanya terlihat meningkat pada beberapa plot dan cenderung tidak berubah pada plot yang lain (Gambar 2b).



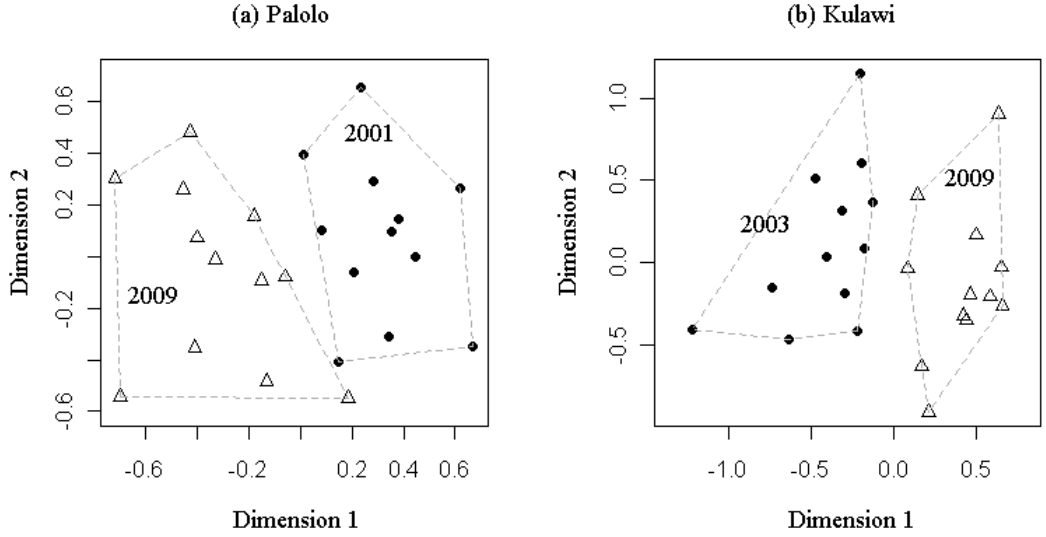
Gambar 2. Perbedaan keanekaragaman semut pada setiap plot pengamatan (a) di Palolo antara tahun 2001 (Hosang) dan 2009 (Buchori) dan (b) di Kulawi antara tahun 2003 (Bos) dan 2009 (Buchori).

Penurunan jumlah spesies semut yang terjadi di Palolo, menunjukkan bahwa praktek intensifikasi pertanian berupa penghilangan pohon naungan dan peningkatan aplikasi pestisida (Tabel 2) berpengaruh negatif keberadaan semut. Hasil ini serupa dengan penelitian Klein *et al.*(2002) dan Bos *et al.*(2007) dimana pengurangan pohon naungan dan aplikasi pestisida berpengaruh terhadap keaneakaragaman serangga termasuk semut.

Berdasarkan komposisi spesies semut, terjadi perubahan antara tahun 2001 dan 2009 di Palolo (ANOSIM statistic $R = 0.417$, $P = 0.001$) dan tahun 2003 dan 2009 di Kulawi (ANOSIM statistic $R = 0.461$, $P = 0.001$). Komposisi spesies semut pada setiap plot pada tahun yang berbeda di kedua lokasi tersebut mengalami perubahan yaitu ditunjukkan dengan terpisahnya kelompok plot antar tahun yang berbeda (Gambar 3a dan 3b).

Tabel 2. Perbedaan ukuran tanaman kakao, kondisi habitat (pohon naungan), dan penggunaan pestisida antara tahun 2001 (Hosang) dan 2009 (Buchori) di Palolo dan antara tahun 2003 (Bos) dan 2009 (Buchori) di Kulawi.

Parameter	Palolo		Kulawi	
	2001	2009	2003	2009
Ukuran Tanaman				
Diameter batang (cm)	10,6 ± 0,7	12,4 ± 0,2	7,9 ± 0,5	11,4 ± 0,6
Tinggi (cm)	512,9 ± 37,6	509,5 ± 12,5	341,1 ± 16,0	485,7 ± 23,7
Kondisi habitat				
Naungan (%)	60,0 ± 5,2	15,8 ± 4,8	65,0 ± 3,9	50,8 ± 5,1
Perubahan *land-use*	0	0,7 ± 0,1	0	0
Aplikasi pestisida				
Insektisida (kali/tahun)	6,9 ± 2,2	12 ± 2,9	0	1,7 ± 0,9
Herbisida (kali/tahun)	2,4 ± 1,1	1,6 ± 0,4	0,1 ± 0,1	1,5 ± 0,6



Gambar 3. Analisis *multidimensional scalling* berdasarkan indeks kemiripan Bray-curtis.(a) Perbedaan spesies semut di Palolo tahun 2001 (Hosang) dan 2009 (Buchori), stress = 0,22. (b) Perbedaan spesies semut di Kulawi tahun 2003 (Bos) dan 2009 (Buchori), stress = 0,21.

Terjadinya perubahan komposisi spesies semut di Kulawi menunjukkan bahwa faktor penyebab perubahan keanekaragaman semut pada perkebunan kakao tidak hanya disebabkan oleh perubahan kondisi habitat, perubahan ukuran tanaman atau praktek intensifikasi pertanian, melainkan juga dipengaruhi oleh faktor yang lain.Terjadinya perubahan suhu (iklim) diduga menjadi faktor penyebab perubahan komposisi spesies semut pada perkebunan kakao. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perubahan suhu sebagai akibat dari penurunan atau penghilangan pohon naungan mempengaruhi

komunitas semut yang ada pada perkebunan kakao (Wielgoss *et al.* 2010). Di Kulawi, dimana hanya sedikit terjadi pengurangan pohon naungan (Tabel 2), mengindikasikan bahwa perubahan suhu yang terjadi sebagai akibat dari perubahan iklim mempengaruhi komunitas semut yang ada di perkebunan kakao. Hal ini karena kondisi iklim khususnya kesesuaian suhu merupakan faktor utama yang mempengaruhi keberdaaan semut (Dunn *et al.* 2009) disamping faktor lain seperti ketersediaan makanan, sarang dan struktur *microhabitat*(Andersen 2000).

Hubungan perubahan komposisi spesies semut dengan keberadaan hama dan penyakit

Perubahan komposisi spesies semut yang diduga terjadi karena perubahan iklim memfasilitasi spesies tertentu seperti *P. cordata* untuk bisa berkembang dengan baik, terdistribusi dengan cepat, dan bahkan mampu menguasai habitat pada area perkebunan kakao, khususnya di Kulawi. Perubahan dominasi spesies semut ini berpotensi berdampak negatif terhadap penurunan produktivitas tanaman kakao. Hal ini karena *P. cordata* berpotensi merugikan bagi petani dan menyebabkan penurunan keanekaragaman serangga termasuk semut.

Di perkebunan kakao, *P. cordata*memiliki paling tidak tiga peranan yaitu sebagai predator, hama, dan vektor penyakit. Sebagai predator, keberadaan semut ini pada tanaman kakao mampu untuk mengontrol keberadaan serangga hama. Bahkan berdasarkan hasil observasi di lapangan, tanaman kakao yang telah terinfestasi *P. cordata* terjadi homogenisasi biotik dimana tidak ada serangga lain atau bahkan semut yang bisa berada bersama (*co-exist*) dengan*P. cordata*.

Perilaku *P. cordata*membuat jejak tanah pada batang kakao juga dapat mengurangi jumlah bunga yang dihasilkan oleh tanaman. Perilaku tersebut yang menjadikan *P. cordata*berpotensi sebagai hama karena dapat menurunkan produksi kakao. Selain itu, keberadaan *P. cordata*pada tanaman kakao juga sangat mengganggu petani khususnya pada saat memanen buah, sehingga oleh petani dianggap sebagai hama. Oleh karenanya tidak mengherankan apabila petani melakukan pegendalian dengan menyemprot insektisida secara intensif.

Peran *P. cordata* sebagai vektor potensial penyakit *P. palmivora*(Wielgoss *et al.* 2010) juga sangat merugikan karena dapat menurunkan hasil produksi kakao. Dari hasil observasi di lapangan menunjukkan bahwa tanaman kakao yang

terinfestasi dan didominasi oleh *P. cordata* memiliki intensitas serangan *P. palmivora* yang tinggi pula pada buahnya.

KESIMPULAN

Keanekaragaman semut pada perkebunan kakao di Sulawesi Tengah berbeda antara tahun 2001, 2003 dan 2009. Keanekaragaman spesies semut terlihat menurun pada daerah dengan gangguan habitat yang tinggi dan intensif dalam managemen pengelolaan perkebunan kakao. Pada kondisi habitat yang tidak banyak mengalami gangguan, tidak terjadi penurunan keanekaragaman spesies semut. Walaupun demikian terjadi perubahan komposisi spesies yang mengindikasikan perubahan suhu (iklim) merupakan faktor penyebab utama perubahan komunitas semut pada perkebunan kakao. Perubahan suhu juga diduga menyebabkan spesies invasif, *P. cordata* menjadi dominan. Keberadaan spesies ini pada perkebunan kakao memiliki dampak negatif yaitu sebagai hama dan vektor penyakit serta mempengaruhi keberadaan serangga lain termasuk semut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Prof. Teja Tscharntke dan Dr. Yann Clough (Universitas Goettingen) yang telah memberikan dukungan dan masukan selama pelaksanaan penelitian. Terimakasih juga kepada Dr. Meldy Hosang dan Dr. Merijn Bos yang telah memberikan data untuk digunakan dalam penelitian ini. Terimakasih juga kami ucapkan kepada para asisten yang telah membantu melakukan melakukan sampling di lapangan (Fifin, Ahmad, Boni, dan Baswan) dan penanganan spesimen di laboratorium (Nur Ivon, Dewi Utaminingsih, dan Putri Syahierah). Kepada PT. Sucofindo, Cabang Palu cq. Bpk. Nyoman, kami juga mengucapkan terimakasih atas peminjaman alat fogging selama penelitian. Penelitian ini dibiayai oleh IPB melalui penelitian PSI (penelitian Strategi Internasional 2010), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) dan Universitas Goettingen.

DAFTAR PUSTAKA

Andersen AN. 2000. Global ecology of rainforest ants: functional groups in relation to environmental stress and disturbance. In: Agosti D, Majer JD, Alonso LE, Schultz TR (Eds.), *Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington: Smithsonian Institution Press. pp. 25-34.

Bhagwat SA, Willis KJ, Birks HJB, Whittaker RJ. 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology & Evolution*. 23:261-267.

Bolton B. 1994. *Identification Guide to the Ant Genera of the World*. Cambridge: Harvard University Press.

Bos MM. 2006. Insect diversity and trophic interactions in shaded cacao agroforestry and natural forests in Indonesia [PhD Thesis]. Göttingen: University of Göttingen.

Bos MM, Steffan-Dewenter I, Tscharntke T. 2007. Shade tree management affects fruit abortion, insect pests and pathogens of cacao. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 120:201-205.

Case M, Ardiansyah F, Spector E. 2007. Climate Change in Indonesia: Implications for Humans and Nature. WWF Report. WWF.

Dunn RR, Agosti D, Andersen AN, Arnan X, Bruhl CA, Cerdá X, Ellison AM, Fisher BL, Fitzpatrick MC, Gibb H, Gotelli NJ, Gove AD, Guenard B, Janda M, Kaspari M, Laurent EJ, Lessard J-P, Longino JT, Majer JD, Menke SB, McGlynn TP, Parr CL, Philpott SM, Pfeiffer M, Retana J, Suarez AV, Vasconcelos HL, Weiser MD, Sanders NJ. 2009. Climatic drivers of hemispheric asymmetry in global patterns of ant species richness. *Ecology Letters*. 12:324-333.

Gornall J, Betts R, Burke E, Clark R, Camp J, Willett K, Wiltshire A. 2010. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*. 365:2973-2989.

Hellmann JJ, Byers JE, Bierwagen BG, Dukes JS. 2008. Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*. 22:534-543.

Hosang MLA. 2004. Interactions between natural enemies, herbivores and cacao in Palolo Valley, Central Sulawesi [PhD Thesis]. Bogor: Bogor Agricultural University.

Khoo KC, Ho CT. 1992. The influence of *Dolichoderus thoracicus* (Hymenoptera: Formicidae) on losses due to *Helopeltis theivora* (Heteroptera: Miridae), black pod disease, and mammalian pests in cocoa in Malaysia. *Bulletin of Entomological Research*. 82:485-491.

Klein A-M, Steffan-Dewenter I, Tscharntke T. 2002. Predator-prey ratios on cocoa along a land-use gradient in Indonesia. *Biodiversity and Conservation*. 11:683-693.

Lattke JE. 2000. Specimen processing: building and curating an ant collection. In: Agosti D, Majer JD, Alonso LE, Schultz TR (Eds.), *Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington: Smithsonian Institution Press. pp. 155-171.

Lovejoy TE. 2010. Climate change. In: Sodhi NS, Ehrlich PR (Eds.), *Conservation Biology for All*: Oxford University Press. pp. 153-162.

Majer JD. 1976. The influence of ants and ant manipulation on the cocoa farm fauna. *Journal of Applied Ecology*. 13:157-175.

Perfecto I, Vandermeer J, Hanson P, Cartín V. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation*. 6:935-945.

Philpott SM, Armbrecht I. 2006. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Ecological Entomology*. 31:369-377.

R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Wardoyo S. 1980. The cocoa pod borer - a major hidrance to cocoa development. *Indonesian Agricultural Research Development Journal*. 2:1-4.

Way MJ, Khoo KC. 1992. Role of ants in pest-management. *Annual Review of Entomology*. 37:479-503.

Wielgoss A, Tscharntke T, Buchori D, Fiala B, Clough Y. 2010. Temperature and a dominant dolichoderine ant species affect ant diversity in Indonesian cacao plantations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 135:253-259.

Wilcove DS, Koh LP. 2010. Addressing the threats to biodiversity from oil-palm agriculture. *Biodiversity and Conservation*. 19:999-1007.

Woodruff DS. 2010. Biogeography and conservation in Southeast Asia: how 2.7 million years of repeated environmental fluctuations affect today's patterns and the future of the remaining refugial-phase biodiversity. *Biodiversity and Conservation*. 19:919-941.

BIOKONVERSI LIGNOSELULOSA TANAMAN JAGUNG MENJADI BIOETANOL MELALUI SAKARIFIKASI DAN KO-FERMENTASI SIMULTAN (SKFS) MENGGUNAKAN BIAKAN CAMPURAN

(Bioconversion of Corn Stover Lignocellulosic to Bioethanol by Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation (SSCF) Using Mixed Culture)

Djumali Mangunwidjaja[1)], Anas Miftah Fauzi[1)], Sukardi[1)] , Wagiman[2)]
[1)]Dep. Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
[2)]Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Sekolah Pasca Sarjana, IPB

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan alternatif proses konversi lignoselulosa dari tanaman jagung menjadi etanol melalui proses *Sakarifikasi dan Ko-fermentasi Simultan* (SKFS). Biomassa diberi perlakuan awal dengan $Ca(OH)_2$ dan hidrotermolisis, dilanjutkan prehidrolisis enzimatik pada suhu 50 ^{O}C selama 24 jam. Selanjutnya sakarifikasi menggunakan enzim selulase, xilanase dan β-glukosidase, sedangkan fermentasi menggunakan dua biakan campuran yaitu *Saccharomyces cereviseae* dan *Pichia stipitis* (Biakan I) serta *Zymomonas mobilis* dan *Pichia stipitis* (Biakan II). Waktu inkubasi SKFS adalah 24, 48, 72, dan 96 jam. Gula reduksi setelah prehidrolisis sebesar 11,63 g/l, sedang produksi etanol tebaik mencapai 6,31 g/l untuk biakan I dan 9,94 g/l untuk biakan II dengan waktu inkubasi yaitu 72 jam. Gula yang terkonversi pada kondisi terbaik untuk biakan I dan II adalah 32,00 % dan 53,03 %.

Kata kunci : Biokonversi, lignoselulosa, bioetanol, SKFS, limbah tanaman jagung.

ABSTRACT

In this research , *Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation (SSCF)* was developed to convert corn stover lignocellulosic biomass to ethanol. The corn stover biomass was pretreated using $Ca(OH)_2$ and hydrothermolysis, then an enzimatic prehydrolysed at 50 ^{O}C, 24 h was conducted prior to SSCF. In the saccharification process, cellulase, xylanase and β-glucosidase were used, whereas for the co-fermentation two mixed cultures applied were culture I (*Saccharomyces cereviseae* and *Pichia stipitis*) and culture II (*Zymomonas mobilis* and *Pichia stipitis*). SSCF was done at incubation time of 24, 48, 72, and 96 hours. The sugar after prehydrolysis was 11,63 g/l, meanwhile the higest ethanol production of 6,31 g/l and 9,94 g/l were reached for for cultures I and culture II at 72 hours of incubation time. The sugar which converted in the process of the culture I and II were 32.00 % and 53.03 % respectively.

Keywords : Bioconversion, lignocellulose, bioethanol, SSCF, corn stover.

PENDAHULUAN

Luas budidaya jagung menunjukkan peningkatan signifikan yaitu dari 3.358.211 ha (2003) menjadi 4.161.000 ha (2009) dan tersebar di 30 propinsi di Indoresia (BPS 2010). Selain jagung, usaha budidaya ini menghasilkan produk samping berupa daun yang dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan limbah

tanaman jagung (*corn stover*) yang biasanya dibakar langsung dan sebagian besar tidak termanfaatkan. Limbah tanaman jagung terdiri dari tongkol (4,49 %), kelobot (4,72 %), daun (7,02 %), batang (83,28 %) dan komponen lain (0,49 %).

Menurut Kim and Lee (2005), limbah tanaman jagung (LTJ) memiliki komposisi glukan (37,5 %), xilan (20,8 %), dan klason lignin (17,6) sehingga potensial sebagai bahan baku bioetanol. Bahan baku ini juga memiliki kelebihan yaitu keuntungan lingkungan, kompetitif secara ekonomi, dapat diproduksi dalam jumlah besar tanpa bersaing dengan pangan (Hill *et al.* 2006).

Biokonversi lignoselulosa menjadi bioetanol dimulai dari hidrolisis selulosa yang menghasilkan glukosa dan hidrolisis hemiselulosa menghasilkan glukosa (C6) dan pentosa (C5) seperti xilosa. Mikroorganisme yang mampu mengkonversi glukosa menjadi bioetanol antara lain *Saccharomyces cereviceae* dan *Zimomonas mobilis*. Sementara itu, untuk konversi pentosa menjadi bioetanol dapat dilakukan oleh mikroorganisme kelompok *yeast* seperti *Pichia stipitis* (Agbogbo dan Coward-Kelly 2008). Tiga mikroorganisme tersebut membutuhkan lingkungan proses yang berbeda sehingga biokonversi C5 dan C6 dalam satu unit memerlukan rekayasa proses untuk mengakomodasi lingkungan proses tersebut.

Hasil hidrolisis lignoselulosa berupa substrat campuran gula pentosa, heksosa, dan beberapa senyawa seperti asam asetat dan HMF. Para peneliti sedang mengembangkan rekayasa genetika untuk mendapatkan mikroorganisme yang mampu mengkonversi C5 dan C6 sekaligus, tahan terhadap inhibitor, dan toleran terhadap konsentrasi etanol yang tinggi. Hasil kajian tersebut belum mencapai tingkat komersial karena memerlukan biaya tinggi dan hasilnya tidak stabil. Oleh karena itu, alternatif lain yaitu menggunakan biakan campuran mikroorganisme alami yang dapat mengkonversi C5 dan C6 dan memiliki persyaratan hidup yang hampir sama. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi penggunaan biakan campuran *S. Cereviceae* dan *P. Stipitis* serta *Z. Mobilis* dan *P. Stipitis*.

METODE PENELITIAN

Penyiapan bahan baku lignoselulosa

Bahan baku lignoselulosa yang terdiri dari tongkol, kelobot, batang dan daun jagung dihancurkan dengan menggunakan *disc mill* sampai diperoleh ukuran

40 mesh. Bahan disimpan pada suhu ruang dan bila akan digunakan terlebih dahulu dioven pada suhu 40 ^{O}C sampai diperoelh kadar air antara 10-15 %.

Penyiapan mikroorganisme

Tiga jenis mikroorganisme yang digunakan yaitu *S. Cereviceae* yang diperoleh dari stok biakan Lab. Bioindustri IPB, *P. Stipitis* (INCC Y06.0001) merupakan hasil *screening* Lab. Mikrobiologi LIPI. Sementara itu, untuk *Z. Mobilis* (FNCC 0056) termasuk bakteri yang diperoleh dari PAU UGM.

Perlakuan awal bahan

Perlakuan awal terdiri dari dua tahap yaitu delignifikasi dengan $Ca(OH)_2$ dan hidrotermolisis. Kondisi proses delignifikasi yaitu penambahan $Ca(OH)_2$ 0.075 g/g biomas, penambahan air 6.25 ml/g biomas, suhu pemanasan 74.6 ^{o}C, dan waktu pemanasan 2 jam. Proses selanjutnya adalah hidrotermolisis yang dibagi dua tahap juga yaitu proses pada suhu 121 ^{O}C selama 2 jam dan 180-200 ^{O}C selama 20 menit. Proses pemisahan padatan dan cairan dilakukan baik setelah delignifikasi maupun hidrotermolisis.

Biokonversi Simultan (enzimatik-fermentasi)
Hidrolisis pendahuluan

Hasil perlakuan awal berupa padatan dan cairan dari hidrotermolisis II selanjutnya di hidrolisis untuk menyediakan gula pada awal SKFS. Selulosa dan hemiselulosa yang masih tersisa di dalam biomas dihidrolisis menggunakan enzim selulase dari *T. reesei* (6 U/mg), xilanase (80 U/mg) dan β-glukosidase (80 U/mg solid). Kondisi proses hidrolisis pendahuluan yaitu suhu 50 ^{o}C, pH 4,8 (Peterson *et al*. 2007), kadar bahan kering 5-7,5 %, kering dan pembebanan enzim selulase 7 IU/g selulosa, xilanase 3 IU/g hemiselulosa dan β-glukosidase 1 IU/ g selulosa . Proses ini dilakukan selama 24 jam dalam sebuah *orbital shaker* dengan kecepatan sekitar 100 rpm.

Sakarifikasi dan ko-fermentasi simultan (SKFS)

Hasil hidrolisis pendahuluan merupakan substrat bagi proses SKFS, untuk meningkatkan intensitas sakarifikasi maka ditambahkan lagi enzim seperti hidrolisis pendahuluan. Pembebanan substrat yang dinyatakan dengan *water insoluble solids* (WIS) sebesar 5-7,5 % (b/v) karena konsentrasi WIS tidak lebih

dari 10 % agar diperoleh konsentrasi bioetanol yang tinggi (Olofsson 2008). Nutrien bagi mikroorganisme berupa urea 24 % ditambahkan sebanyak 12,5 %. SKFS dijalankan pada suhu 32 ^{O}C selama 24, 48, 72, dan 96 jam. Ada tiga rancangan SKFS berdasarkan mikrorganisme yang dipakai yaitu *S. cereviceae* (pembanding), biakan campuran I (*S. cereviceae* maupun *Z. mobilis*) dan biakan campuran II (*Z. mobilis* dan *P. stipitis*).

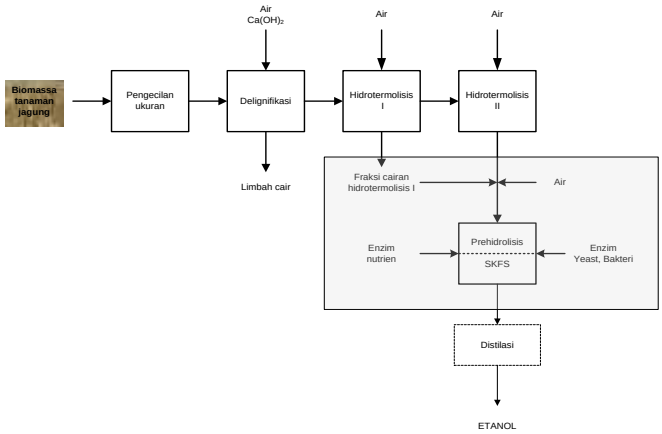
Analisis komponen lignoselulosa, gula, etanol, dan massa sel.

Komponen lignoselulosa yaitu selulosa, hemiselulosa, lignin, dan bahan ekstraktif ditentukan menggunakan metode *Mokushitsu Kagaku Jiken Manual* (2000). Karakterisasi ini dilakukan pada biomasa tanaman jagung sebelum dan sesudah perlakuan awal. Selain itu, perubahan sifat kristalitas biomas akibat perlakuan awal diukur menggunakan *Diffractometer XRD-7000* (Jepang) dengan sumber radiasi Cu dan dioperasikan pada 40 kV dan 30 mA. Untuk melihat perubahan struktur mikroskopik maka dilakukan *scanning electron microscopy* (SEM) (JSM-5310 LV, JEOL, Japan).

Analisis gula pereduksi sebelum dan sesudah SKFS menggunakan metode DNS (Miller, 1959), sedangkan total gula ditetapkan berdasarkan metode fenol-asam sulfat (Apriyantono, 1989). Sementara itu, konsentrasi bioetanol dengan Gas Kromatografi jenis GC-14B Shimadzu (Japan), Tipe FID, dengan kecepatan aliran gas N_2 (pembawa) 85 ml/menit. Untuk konsentrasi massa sel dihitung berdasarkan berat padatan setelah supernatant fermentasi disentrifugasi pada kecepatan 5000 rpm selama 10 menit.

Skema rancangan proses SKFS

Rancangan proses produksi bioetanol dari biomasa lignoselulosa terdiri dari unit proses pengecilan ukuran, delignifikasi , separasi, hidrotermolisis, dan SFS (Gambar 1). Untuk unit pemurnian dan unit pelengkap (pengolah limbah) belum masuk dalam kajian ini.



Gambar 1. Proses produksi bioetanol dari bahan lignoselulosa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lignoselulosa tanaman jagung

Lignoselulosa terdiri dari komponen selulosa, hemiselulosa, lignin, dan bahan ekstraktif. Selulosa atau glukan merupakan polimer glukosa, sedangkan hemiselulosa didominasi oleh xilan (polimer xilosa) dan senyawa lain seperti arabinan, galaktan, dan mannan. Tabel 1 menunjukkan bahwa komposisi lignoselulosa biomas tanaman jagung bervariasi tergantung lokasi produksi (Buranov dan Mazza, 2008). Biomas tanaman jagung jenis BISI 2 memiliki komposisi selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang lebih tinggi di banding biomas dari beberapa negara lain. Kandungan selulosa dan hemiselulosa yaitu 38,68 % dan 27,36 % sehingga sangat baik untuk bahan baku bioetanol tetapi proses konversinya juga lebih sulit.

Tabel 1. Komposisi lignoselulosa tanaman jagung (% berat kering)

Asal/Jenis	Selulosa (glukan)	Hemiselulosa (Xilan)	Lignin	Referensi
Indonesia	38,68±8,02	27,36±2,31	22,27±1,26	Hasil uji (2009)
Hungaria	(37,2)	(21,1)	26	Öhgren *et.al.* (2006)
Colorado	37,50	20,80	17,60	Kim dan Lee (2006)
Italia	(36,90±0,56)	(20±0,73)	(13,76±0,15)	Xu *et.al.* (2009)
Amerika	34,61 (34,61)	22,21 (18,32)	17,69	EERE (2009)

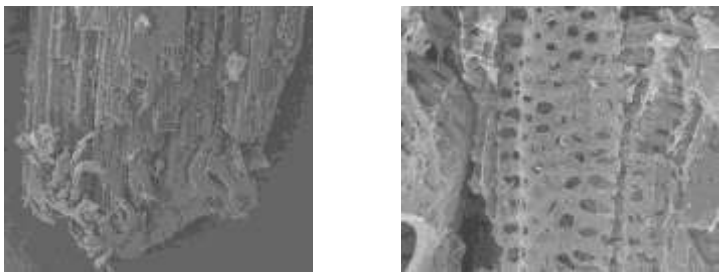
Berdasarkan analisis proksimat, biomasa limbah tanaman jagung memilki kadar air 10,83 %, kadar abu 2,00 %, kadar lemak 4,16 %, kadar protein 0,57 %, kadar

serat kasar 21,27 %, dan kadar karbohidrat *by difference* 66,06 % (semua bb). Kadar serat yang tinggi menguatkan hasil análisis komposisi dimana selulosa dan hemiselulosa lebih dominan, demikian pula kadar karbohidrat mengindikasikan besarnya potensi konversi biomas menjadi bioetanol. Di sisi lain, lemak yang merupakan salah satu zat ekstraktif, dapat menghambat proses delignifikasi pada kadar yang tinggi.

Perlakuan awal dan prehidrolisis

Hasil perlakuan awal terdiri dari fraksi padatan yang masih mengandung komponen lignoselulosa dan fraksi cairan yang mengandung bahan-bahan biomasa yang telarut di air. Fraksi padatan memiliki komposisi sebagai berikut selulosa (42,68 %), hemiselulosa (34,34 %), lignin (20,70 %), dan ekstraktif (1,15 %). Perlakuan awal juga menurunkan sifat kristalinitas selulosa pada daun, tongkol dan kelobot berturut-turut 0.77 %, 1.99 % dan 6.31%, sedangkan batang mengalami peningkatan kristalitas sebesar 4.62 %. Penurunan disebabkan oleh perusakan struktur kristal menjadi struktur tidak beraturan (*amorf*) sehingga kualitas substrat lebih baik. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa struktur kristal batang belum dapat rusak pada perlakuan hidrotermolisis II.

Pengaruh perlakuan awal juga dapat dilihat dari struktur mikroskopik sel biomas tanaman jagung. Gambar 2 merupakan hasil SEM dari biomasa limbah tanaman jagung sebelum perlakuan (a) dan sesudah perlakuan (b). Perlakuan awal menyebabkan sebagian komponen lignoselulosa seperti bahan ekstraktif terlarut dan meninggalkan pori-pori yang diharapkan akan memudahkan penetrasi enzim ke lignoselulosa.



(a) sebelum perlakuan (b) sesudah perlakuan

Gambar 2. Hasil *scanning electron microscopy* (SEM) biomas tanaman jagung sebelum dan sesudah perlakuan awal.

Hasil lainnya dari perlakuan pendahuluan yaitu fraksi cairan mengandung total gula sebesar 2,48 g/l dan gula pereduksi sebesar 1,69 g/l. Setelah hidrolisis pendahuluan, total gula meningkat menjadi 42,20 g/l dan gula pereduksi menjadi 11,63 g/l. Hal ini mengindikasikan ada komoponen selulosa dan hemiselulosa dari lignoselulosaa yang terlarut tetapi hanya sebagian kecil yang sudah berbentuk monomer.

Sakarifikasi dan Ko-fermentasi Simultan (SKFS)

Produksi gula

Gula reduksi adalah gula yang mempunyai kemampuan untuk mereduksi karena ada gugus keton dan aldehid (-CHO) seperti glukosa, manosa, fruktosa, laktosa, maltosa, dan lain-lain. Gula reduksi dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhan sel dan pembentukan produk metabolit. Gula reduksi hasil prehidrolisis sebesar 11,63 g/l diharapkan segera terkonversi menjadi etanol pada saat proses SKFS dimulai. Pembentukan gula melalui proses sakarifikasi juga berlangsung secara simultan dengan proses fermentasi.

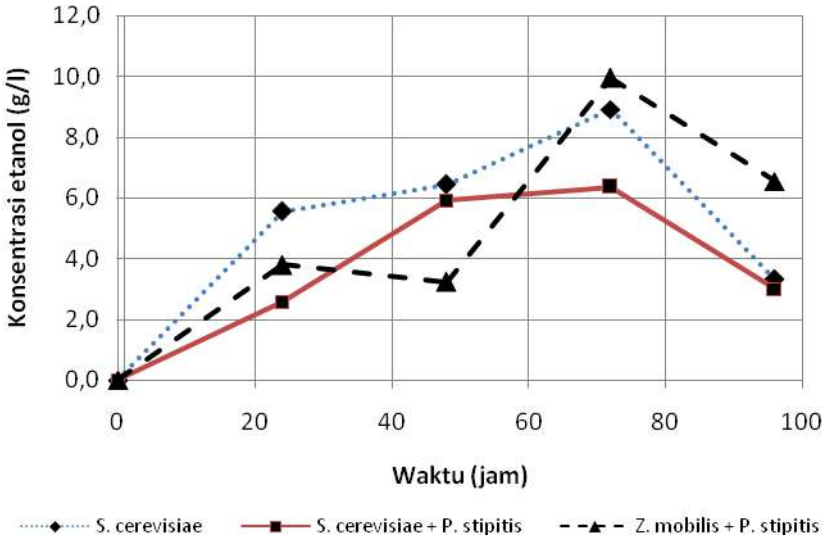
Penurunan gula reduksi pada biakan campuran *Z. mobilis* dan *P. stipitis* lebih besar dibandingkan dengan biakan campuran *S. Cerevisiae* dan *Z. mobilis* maupun biakan tunggal *S. Cerevisiae* (Tabel 2). Biakan campuran *Z. mobilis* dan *P. stipitis* mampu mengkonversi gula dalam jumlah besar karena keduanya termasuk jenis mikroorganisme yang membutuhkan kondisi lingkungan hampir sama yaitu anoksik. Disamping itu, *P. stipitis* mampu memfermentasi glukosa, xilosa, mannosa, galaktosa, dan selobiosa (Parekh and Wayman 1986 dalam Agbogbo dan Coward-Kelly, 2008)

Tabel 2. Gula reduksi yang terkonversi pada biakan tunggal dan campuran

Biakan	Konsentrasi gula (g/l)		Terkonversi (%)
	awal (0 jam)	72 jam	
S. cerevisiae	53.000	36.745	30.67
S. cerevisiae + Z. mobilis	53.000	36.040	32.00
Z. mobilis + P. stipitis	11.635	5.460	53.07

Produksi etanol

Selama proses fermentasi, metabolisme sel akan menghasilkan energi untuk kehidupanya dan produk sekunder yaitu etanol. Pada kondisi terbaik yaitu jam ke-72 untuk biakan campuran *Z. mobilis* dan *P. stipitis* serta biakan tunggal *S. cerevisiae* masing-masing mampu menghasilkan bioetanol sebesar 9,940 g/l dan 8,916 g/l. Sementara pada biakan campuran *S. cerevisiae* dan *Pichia stipitis*, kondisi terbaik tercapai pada jam ke-48 dengan konsentrasi bioetanol 6,351 g/l (Gambar 3).



Gambar 3. Konsentrasi bioetanol selama sakarifikasi dan fermentasi simultan.

Setelah kondisi terbaik maka terjadi penurunan konsentrasi etanol yang kemungkinan terjadi konversi lebih lanjut dari bioetanol menjadi produk lain seperti asam asetat. Hal ini ditandai dengan terjadinya penuruan pH dari sekitar 6,3 menjadi 5,4 selama 96 jam proses berlangsung. Penurunan pH juga mungkin disebabkan oleh pembentukan asam selama fermentasi seperti asam piruvat dan asetaldehid melalui jalur *Entner Doudoroff* dan *Embeden Meyerhoff Parnas*. Selain itu juga terbentuk asam-asam organik seperti asam laktat, asam asetat dan gliserol yang merupakan hasil samping dari etanol.

Efektivitas proses biokonversi dapat dilihat dari *yield* produk per substrat (Y p/s), *yield* biomassa per substrat (Y x/s) dan *yield* produk per biomassa (Y p/x) (Collins dan Walter dalam Bowkamp, 1985). Proses dinilai efektif jika Yp/s dan

Yp/x tinggi dan Yx/s rendah. Rumus untuk menghitung parameter tersebut sebagai berikut :

$$Yx/s = \frac{Xt-Xo}{So-St}, \quad Yp/s = \frac{Pt-Po}{So-St}, \quad Yp/x = \frac{Pt-Po}{Xt-Xo}$$

Xt = massa sel saat t Xo = massa sel awal

St = massa substrat pada saat t So= massa substrat awal

Pt = massa produk pada saat t Po = massa produk awal

Keterkaitan konsumsi substrat dengan produk atau lignoselulosaa, lignoselulosaa dengan produk dan efisiensi pemanfaatan substrat pada proses sakarifikasi dan fermentasi simultan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rendemen hasil sakarifikasi dan fermentasi simultan

Mikroba	Y p/s	Y x/s	Y p/x
S. cerevisiae	0,063	0,073	-
S. cerevisiae dan P. stipitis	0,068	0,169	-
Z. mobilis dan P. stipitis	0,266	0,023	11,425

Hasil produk per substrat (Y p/s) adalah rendemen produk yang terbentuk per substrat yang dikonsumsi oleh mikroba. Hasil produk per substrat terbesar diperoleh pada sakarifikasi dan fermentasi simultan menggunakan biakan *Z. mobilis dan P. stipitis* sebesar 0,266. Hasil biomassa (Y x/s) adalah rendemen biomassa yang terbetuk per substrat yang dikonsumsi. Hasil biomassa per substrat terbesar diperoleh pada sakarifikasi dan fermentasi menggunakan bikan campuran *S. cerevisiae dan P. stipitis*. Dengan demikian, konvwersi gula pada bikan campuran *S. cerevisiae dan P. stipitis* lebih banyak utnuk perkembangbiakan dan pada *Z. mobilis dan P. stipitis* cenderung untuk pembentukan bioetanol.

Biakan campuran *S. cerevisiae dan P. stipitis* lebih baik dibanding dengan biakan tunggal *S. cerevisiae* baik dalam produksi bioetanol per substrat maupun produksi sel per substrat. Agbogbo dan Coward-Kelly (2008) menjelaskan bahwa mikroorganisme ini juga mengkonsumsi asam asetat, mengurangi cincin furan dalam HMF dan furfural sehingga mengurangi bahan toksik yang ada di dalam substrat fermentasi. Dengan demikian memberikan peluang kerja lebih baik untuk *S. cerevisiae*.

Secara keseluruhan sakarifikasi dan fermentasi simultan menggunakan mikroba *Z. mobilis dan P. stipitis* lebih baik daripada menggunakan mikroba lainnya karena menghasilkan produk per biomassa (Y p/x), produk per substrat (Y p/s) yang terbesar. Hal ini dapat disebabakan karena dalam biakan tersebut terdapat biakan *Pichia stipitis* yang dapat menggunakan gula dalam bentuk pentosa.

KESIMPULAN

Biomasa lignoselulosa tanaman jagung dapat dikonversi menjadi bioetanol setelah diberi perlakuan dengan $Ca(OH)_2$ dan hidrotermolisis. Konversi terbaik terjadi pada sakarifikasi dan fermentasi (SKFS) menggunakan biakan campuran *Z. moblis* dan *P. Stipitis* dengan konsentrasi bioetanol mencapai 9,94 g/l, Yp/s sebesar 0,266 dan Yp/x sebesar 11,425.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah menyediakan dana penelitian melalui Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional Tahun Batch II Tahun Anggaran 2010 Nomor 189/SP2H/PP/DP2M/III/2010 tanggal 01 Maret 2010.

DAFTAR PUSTAKA

Agbogbo FK, Coward-Kelly G. 2008. Cellulosic ethanol production using naturally occurring xylose-fermenting yeast, Pichia stipitis. *Biotechnol Lett* 30 : 1515-1524

Bertilsson M, Olofsson K, liden G. 2009. Prefermentation improves xylose utilization in simultaneous saccharification and co-fermentation of pretreated spruce. *Biotechnology for biofuels* 2 : 8

Bransby DI. 2007. Cellulosic Biofuel Technologies. 202 Funchess Hall, Aurburn University.

Brawn RC. 2003. *Biorenewable Resources : Engineering New products from Agriculture*. USA : Iowa State Press.

[BPS] Badan Pusat Statistik. 2009. Luas, produksi, produktivitas jagung secara nasional. www.bps.go.id, diakses 5 Februari 2010

[ESDM] Energi dan Sumber Daya Mineral. 2005. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025*, Jakarta.

Candra RP, Bura R, Mabee WE, Berlin A, Pan X, Saddler JN. 2007. Adv. *Biochem Engin/Biotechnol* 108 : 67-93.

[EERE] Energy Efficiency & Renewable Energy. 2009. Biomass Feedstock Composition and Property Database. http://www.afdc.energy.gov/biomass/progs/search3.cgi?24341. Diakses 12 Agustus 2009.

Huang H-J, Ramaswamy S, Al-Dajani W, Tschirner U, Cairncross RA. 2000. Effect of biomass species and plant size on cellulosic ethanol : A coparative process and economic analysis. *Biomass and Bioenergy, in press.*

Jeppsson H, NJ Alexander, B Hanh-Hangerdal. 1995. Exitence of cyanide-insentive respiration in the yeast *Pichia stipitis* and its possible influence on product formating during xylose utilization. *Appl. Environ. Microbiol.* 61(7):2596-2000.

Kaar, W. E. dan M. T. Holtzapple. 2000. Using Lime Pretreatment to Facilitate the Enzymic Hydrolysis of Corn Stover. *Biomass and Bioenergy* 18 : 189-199.

Kim, S. 2004. *Lime Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover. Disertasi.* Chemical Engineering. Texas A&M University.

Kim, S. dan M. T. Holtzapple. 2005. Lime Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover. *Bioresource Technology* 96: 1994-2006.

Kim, S. dan M. T. Holtzapple. 2006[a] . Effect of Structural Features on Enzyme Digestibility of Corn Stover. *Bioresource Technology* 97 : 583-591.

Kim, S. dan M. T. Holtzapple. 2006[b] . Delignification Kinetics of Corn Stover in Lime Pretreatment. *Bioresource Technology* 97: 778-785.

Kleppe, P. J. 1970. Kraft Pulping. *Tappi* 53 : 35-47

Mokushitsu Kagaku Jiken Manual. 2000. Japan Wood Research Society Publisher.

Obire, O. 2005. Activity of *Zymomonas sp* in palm-sap obtained in three areas in edo state, nigeria. J. Appl. Sci. Environ. Manage 9 (1) : 25-30.

Olofsson K, Bertilson M, Liden G. 2008. A short review on SSF-an interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Biotechnology for Biofuel* 1:7, 1-14.

Olofsson K, Rudolf A, Liden G. 2008. Designing simultaneous saccharification and fermentation for improved xylose conversion by a recombinant strain of *Saccharomyces cerevisiae. Journal of Biotechnology 134 : 112–120.*

Öhgren K, Rudolf A, Galbe M, Zacchi G. 2006. Fuel ethanol production from steam-pretreated corn stover using SSF at higher dray matter content. *Biomass and Bioenergy* 30 : 863-860

Öhgren K, J Vehmaanperä, M Siika-Aho, M Galbe, L Viikari, G Zacchi. 2007. High temperature enzymatic prehydrolysis prior to simultaneous saccharification and fermentation of steam pretreated corn stover for ethanol production. *Enzyme and Microbial Technology* 40 : 607-613.

Philippidis GP. 1996. Cellulose Bioconversion Technology dalam handbook on Bioethanol : Production and Utilization, Taylor & Francis.

Rouhollah, Hamidimotlagh, Nahvi Iraj, Emtiazi Giti and Abedinifar Sorah. 2007. Mixed Sugar Fermentation by *Pichia stipitis, Saccharomyces cereviseae,* and isolated xilose fermenting *Kluyveromyces marxianus* and their culture. African Journal of Biotechnology. http://www.academycjournals.org/AJB, diakss 2 Mei 2007.

Runkel ROH, KD Wilke. 1951. Chemical composition and properties of wood heated at 140 °c to 200 °c in a closed system without free space. Part II. Holz Als Roh Und Werstoff. 9:260- 270. Germany

Rutz D, Janssen R. 2007. *Biofuel Technology Handbook*. Jerman : WIP Renewable Energies, Sylvensteinstr.

Sierra R, A Smith, C Grdana, MT Holtzapple. 2008. Producing fuels and chemicals from lignocellulosic biomass. Sbe special edition : biofuels. http://www.aiche.org/SBE/Publication/Articles.aspx, diakses 27 Oktober 2008.

Thomsen MH, Thygesen A, Thomsen AB. 2007. Hydrothermal treatment of wheat straw at pilot plant scale using a three-step reactor system aiming at high hemicellulose recovery, high cellulose digestibility and low lignin hydrolysis. *Bioresource Technology, in press.*

Wang D, X Wu, S Bean, JP Wilson. 2006. Ethanol production from pearl millet using *Saccharomycess cereviseae*. *Cereal Chem*. 83 (2): 127-131.

Zhang, M., C. Eddy, K. Dedana, M. Finkelstein dan S. Picataggio. 1995. Metabolic engineering of a pentose metabolism pathway in ethanologenic *Zymomonas mobilis*. *Science*. 267: 240−243.

PENGARUH PROSES RE-ESTERIFIKASI PADA MESA SEBELUM PROSES NETRALISASI TERHADAP NILAI IFT SURFAKTAN MES YANG DIHASILKAN

(Effects of Re-Esterification in MESA Before Neutralization Process on IFT Values of Resulted MES Surfactant)

Erliza Hambali[1)], Putu Suarsana[2)], Sugihardjo[3)], Mira Rivai[1)], Edi Zulchaidir[4)], Hermansyah Handoko[5)]

[1)] Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi, LPPM – IPB, [2)] PT Pertamina EP, [3)] Lemigas, Kementerian ESDM, [4)] PT. Findeco Jaya, [5)] PT Mahkota Indonesia

ABSTRAK

Kebutuhan energi nasional tiap tahun semakin meningkat dan sebagian besar diandalkan dari minyak bumi yang produksinya setiap tahun cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena lapangan minyak Indonesia yang saat ini berjumlah 14.000 buah dan sebagian besar tergolong dalam sumur tua, sehingga produksi minyaknya rendah. Sehingga diperlukan upaya peningkatan produksi minyaknya melalui penerapan teknologi EOR dengan memanfaatkan surfaktan sebagai *chemical*-nya. Pada sisi lain, Indonesia merupakan salah satu produsen sawit terbesar dunia oleh sebab itu perlu ditingkatkan nilai tambahnya. Upaya peningkatan nilai tambah minyak sawit Indonesia dapat dilakukan melalui pengembangan minyak sawit menjadi surfaktan metil ester sulfonat (MES) yang dapat dimanfaatkan oleh industri perminyakan pada aktivitas produksinya untuk meningkatkan *recovery* minyak bumi. Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja IFT surfaktan MES melalui perbaikan proses pemurnian dengan melakuan proses re-esterifikasi sebelum proses netralisasi. Proses re-esterifikasi dilakukan dengan penambahan metanol 7,5; 10; 12,5; 15 dan 17,5 persen. Nilai IFT surfaktan MES terhadap salinitas air formasi 10.000-30.000 ppm berkisar antara 0,15 – 0,29 dyne/cm, sedangkan terhadap kesadahan air formasi 100-500 ppm memberikan nilai IFT 0,046 - 16,42 dyne/cm. Hasil formulasi surfaktan MES yang dikombinasikan dengan beberapa jenis surfaktan komersial diperoleh nilai IFT 0,97 - 0,02 dyne/cm.

Kata kunci : Minyak sawit, proses sulfonasi, surfaktan MES, *recovery* minyak bumi.

ABSTRACT

National energy need is increasing from year to year and this need is still fulfilled mostly from fossil fuel whose production tends to be decreasing. This may be caused by the fact that there are only 14,000 oil fields in Indonesia and most of them are considered old wells with low production. Therefore, efforts to improve oil production through the application of EOR technology by using surfactant as the chemical need to be done. Meanwhile, as Indonesia is one of the world biggest palm oil producers, the improvement of palm oil value added needs to be done. This can be done by utilizing palm oil as a source of methyl esther sulphonate (MES) for the improvement of oil recovery in petroleum industries. This study was aimed at enhancing the IFT performance of MES surfactant through the improvement of the purification process by conducting re-esterification prior to the neutralization process. The re-esterification process was done by adding 7.5, 10, 12.5, 15 and 17,5% methanol. It was found that the IFT values of MES surfactant to the salinity of 10.000-30.000 ppm formation water were 0.15-0.29 dynes/cm and those to the hardness of 100-500 ppm formation water were 0,046-16.42 dynes/cm. The formulation of MES surfactant combined with several types of commercial surfactants resulted in IFT values of 0.97-0.02 dynes/cm.

Keywords : Palm oil, sulphonation process, MES surfactant, fossil fuel recovery.

PENDAHULUAN

Saat ini Indonesia menduduki posisi sebagai produsen minyak sawit terbesar dunia. Namun hingga saat ini potensi minyak sawit Indonesia tersebut baru dimanfaatkan untuk produk oleokimia, sementara industri oleokimia turunan belum dikembangkan dengan baik di Indonesia. Padahal produk oleokimia turunan merupakan produk yang memiliki nilai tambah jauh lebih tinggi. Salah satu produk oleokimia turunan bernilai tambah tinggi adalah surfaktan.

Surfaktan banyak dimanfaatkan di industri perminyakan sebagai salah satu *chemical* pada proses *Enhaced Oil Recovery* (EOR) untuk meningkatkan *recovery* minyak bumi (Lake, 1987). Lapangan minyak Indonesia yang saat ini berjumlah 14.000 buah dan sebagian besar tergolong dalam sumur tua, sehingga produksi minyaknya rendah. Surfaktan memegang peranan penting dalam proses EOR dengan cara menurunkan tegangan antarmuka (IFT), mengubah kebasahan (*wettability*), menurunkan viskositas dan menstabilkan dispersi sehingga memudahkan proses pengaliran minyak dari reservoir ke lubang sumur.

Potensi pasar surfaktan pada industri perminyakan masih terbuka lebar mengingat hingga saat ini surfaktan yang digunakan oleh industri perminyakan di Indonesia masih berupa produk impor dengan harga USD 4.000 – 10.000 per ton. Hal ini merupakan peluang bagi Indonesia untuk mengembangkan jenis surfaktan lokal berbasis minyak nabati yang dimiliki. Oleh karenanya, dalam rangka mendukung pengembangan industri hilir kelapa sawit sekaligus juga mendukung industri perminyakan nasional maka perlu dilakukan pengembangan surfaktan lokal berbasis minyak sawit.

Salah satu kriteria utama dalam menseleksi surfaktan untuk aplikasi EOR adalah uji IFT. Uji IFT dilakukan untuk melihat kemampuan surfaktan dalam menurunkan tegangan antar muka antara minyak dan air formasi dan sebagai akibatnya minyak akan lebih mudah mengalir melalui pori-pori kapiler pada batuan formasi. Berkaitan dengan hal tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk untuk meningkatkan kinerja IFT surfaktan MES melalui perbaikan proses pemurnian dengan melakuan proses re-esterifikasi sebelum proses netralisasi.

METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di dua tempat, yaitu (1) PT Mahkota Indonesia – Jakarta, untuk penyiapan gas SO_3, proses produksi surfaktan MES sistem kontinyu, dan (2) Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi (SBRC), LPPM IPB Bogor untuk proses transesterifikasi minyak sawit, proses re-esterifikasi MESA, proses netralisasi MESA, formulasi surfaktan untuk EOR dan kegiatan analisis IFT.

a. Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah metil ester dari olein minyak sawit, gas SO_3, NaOH, metanol, NaCl, akuades demineralisasi, kertas saring Whatman 41, membran filter 0,45 µm, air formasi sintetik dengan salinitas 10.000-30.000 ppm, air formasi sintetik dengan kesadahan 100-500 ppm, sampel minyak bumi dan sampel surfaktan komersial. Peralatan yang digunakan yaitu reaktor transesterifikasi, reaktor *Singletube Film Sulfonation Reactor* (STFR) sistem kontinyu, reaktor aging, spinning drop tensiometer, densitometer, pH-meter, neraca analitik, *hotplate stirrer*,buret, serta alat-alat gelas lainnya.

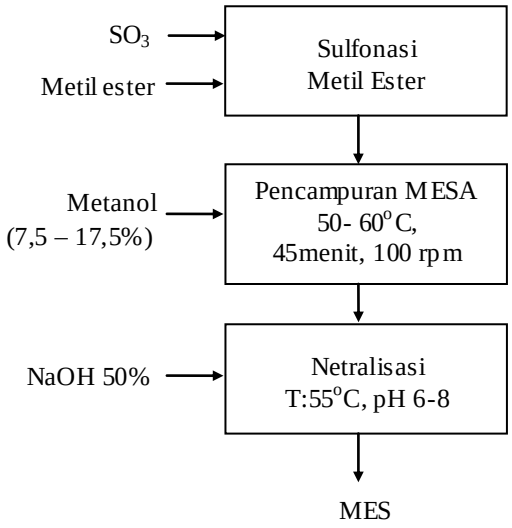
b. Metodologi Penelitian

Lingkup penelitian terdiri atas proses proses sulfonasi dan aging untuk menghasilkan MESA Olein, perbaikan proses pemurnian surfaktan MES, formulasi surfaktan dan analisis IFT untuk melihat kinerja surfaktan MES.

Proses sulfonasi dilakukan pada reaktor STFR (*Singletube film sulfonation reactor)* dengan menggunakan bahan baku metil ester olein dengan pereaktan gas SO_3, dengan rasio mol metil ester dan gas SO_3 yaitu 1:1,3 dengan laju alir ME olein 100 ml/menit. Proses sulfonasi dilakukan pada suhu sulfonasi 90-100^oC selama 3-4 jam, kemudian dilanjutkan dengan proses aging pada suhu 90^oC selama 60 menit dengan pengadukan 150 rpm (Hambali, *et al.*, 2010).

MacArthur *et al.* (2002), menyatakan bahwa absopsi SO_3 oleh metil ester dalam *falling film reaktor* akan menghasilkan senyawa intermediate. Senyawa intermediate akan membentuk methyl ester sulfonic acid (MESA). Perbaikan

proses pemurnian MESA dilakukan dengan melakukan proses re-estrifikasi sebelum proses netralisasi. Proses re-esterifikasi dilakukan dengan penambahan metanol (7,5; 10; 12,5; 15 dan 17,5%), pada suhu 50-60^{o}C kemudian dinetralisasi dengan penambahan 50% NaOH hingga diperoleh pH netral; lama proses 45 menit dan kecepatan pengadukan 100 rpm. Proses netralisasi MESA untuk menghasilkan MES dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar1. Proses netralisasi MESA

Surfaktan MES hasil proses re-estrifikasi pada penambahan konsentrasi metanol terbaik dipilih dengan melihat kinerja surfaktan MES terhadap kesadahan air formasi pada 10.000, 20.000 dan 30.000 ppm yang memiliki nilai IFT terkecil. Pengujian surfaktan MES terhadap salinitas dilakukan dengan menggunakan konsentrasi surfaktan MES 1%.

Hasil surfaktan MES dengan konsentrasi metanol terbaik ini kemudian diuji kinerjanya dengan melihat nilai IFT terhadap air formasi pada kesadahan (100, 300, 500 ppm). Pengujian surfaktan MES terhadap kesadahan dilakukan dengan menggunakan konsentrasi surfaktan MES 0,1; 0,3; 0,5 dan 1%.

Tahap selanjutnya dilakukan formulasi surfaktan dengan tujuan untuk mendapatkan formula yang dapat diaplikasikan untuk EOR. Formula surfaktan dibuat dengan mencampurkan surfaktan MES dengan dua jenis co-surfaktan (dengan perbandingan konsentrasi yang sama). Perbandingan kosentrasi surfaktan MES dan co-surfaktan yang digunakan adalah 10%:90%; 20%:80%; 30%:70%;

40%:60%; 50%:50%; 60%:40%; 70%:30%; 80%:20% dan 90%:10%. Hasil formulasi surfaktan tersebut kemudian diuji kinerjanya dengan melihat kompatabiliti dan nilai IFT pada air formasi sintetik dengan salinitas 10.000 ppm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses sulfonasi pada bahan metil ester dilakukan dengan cara mereaksikan gas SO_3 (telah dilarutkan dengan udara kering sehingga gas SO_3 yang akan digunakan mempunyai konsentrasi sekitar 5 - 7%). Menurut Foster (1996), proses sulfonasi menggunakan gas SO_3 dilakukan dengan melarutkan SO_3 yang bersifat reaktif dengan udara yang sangat kering dan direaksikan secara langsung dengan bahan baku organik yang digunakan.

Tahap pertama sulfonasi merupakan pembentukan cepat *adduct* (campuran) SO_3 dan metil ester (*mixed anhydride*) dan tahap kedua lebih lambat, sulfonasi pada posisi α yang tergantung pada temperatur melalui penyusunan ulang untuk menghasilkan α sulfo fatty acid (Stein dan Baumann, 1974). Proses sulfonasi ME belum menghasilkan MES, namun berupa produk antara Methyl Ester Sulfonic Acid (MESA) (MacArthur *et al.*, 2002).

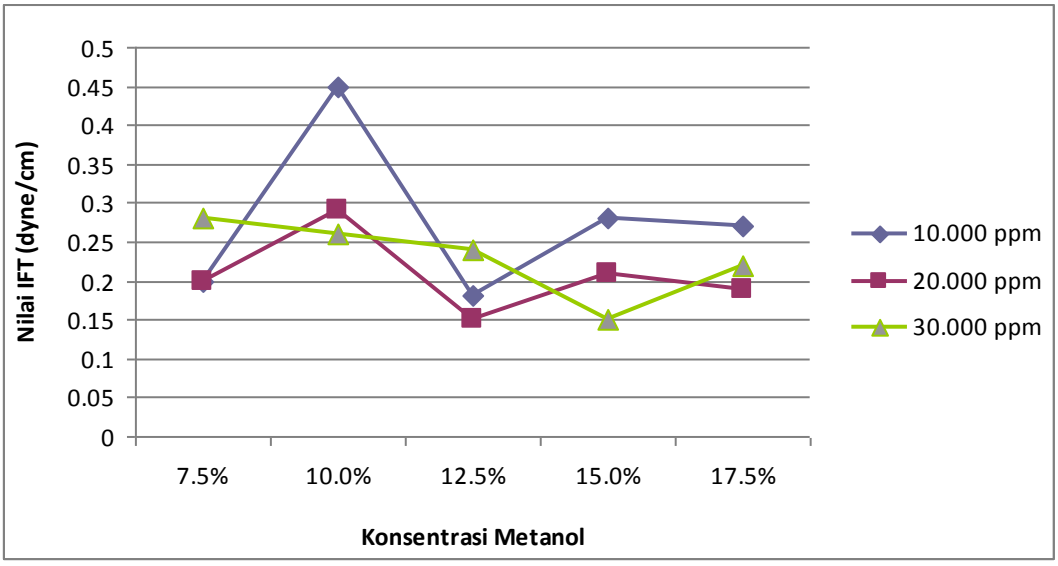
MESA merupakan senyawa intermediet yang didalamnya masih mengandung campuran SO_3, dengan pengadukan dapat secara substansial mengontrol rekasi isothermal dengan dikondisikan pada waktu tinggal yang lama pada rasio mol/konversi yang tinggi, dengan memperpanjang kontak penyempurnaan produk tersulfonasi dengan residu SO_3 yang terdapat pada antarmuka gas liquid (Moretti dan Adami, 2001).

Tahap selanjutnya adalah proses aging. Proses aging merupakan proses pasca sulfonasi SO_3 terhadap metil ester olein pada STFR untuk menyempurnakan kontak reaksi SO_3 dengan metil ester. Karakter produk yang dimiliki setelah proses aging bersifat asam. Oleh karena itu diperlukan proses untuk menetralisir kandungan asam yang terkandung di dalam surfaktan MES. Sebelum dilakukan proses netralisasi, dilakukan terlebih proses re-esterifikasi MESA menggunakan metanol (7,5% – 17,5%) dan kemudian dilanjutkan dengan proses netralisasi menggunakan NaOH 50% hingga diperoleh pH netral. Metanol pada proses re-esterifikasi berfungsi mengurangi pembentukan garam disodium karboksi

sulfonat. Kehadiran garam akan daya simpan produk, lebih sensitif terhadap air sadah, dan deterjensi menjadi 50% lebih rendah.

Untuk mengetahui konsentrasi metanol terbaik yang dapat digunakan pada proses re-estrifikasi, surfaktan MES yang dihasilkan diuji dengan melihat nilai IFT nya terhadap salinitas air formasi. Surfaktan MES hasil pemurnian dengan konsentrasi metanol yang memberikan nilai IFT terkecil pada uji salinitas air formasi yang selanjutnya dipilih untuk uji-uji berikutnya.

Hasil pengujian stabilitas surfaktan MES terhadap salinitas air formasi menunjukkan bahwa pada salinitas 10.000 ppm memberikan nilai IFT berkisar antara 0,20 – 0,45 dyne/cm. Pada salinitas 20.000 ppm memberikan nilai IFT berkisar antara 0,20 – 0,29 dyne/cm, sementara pada salinitas 30.000 ppm memberikan nilai IFT berkisar antara 0,15 – 0,28 dyne/cm. Grafik pengaruh salinitas terhadap nilai IFT berbagai sampel surfaktan MES dengan penambahan konsentrasi metanol berbeda-beda disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik pengaruh salinitas terhadap nilai IFT pada konsentrasi surfaktan 1%.

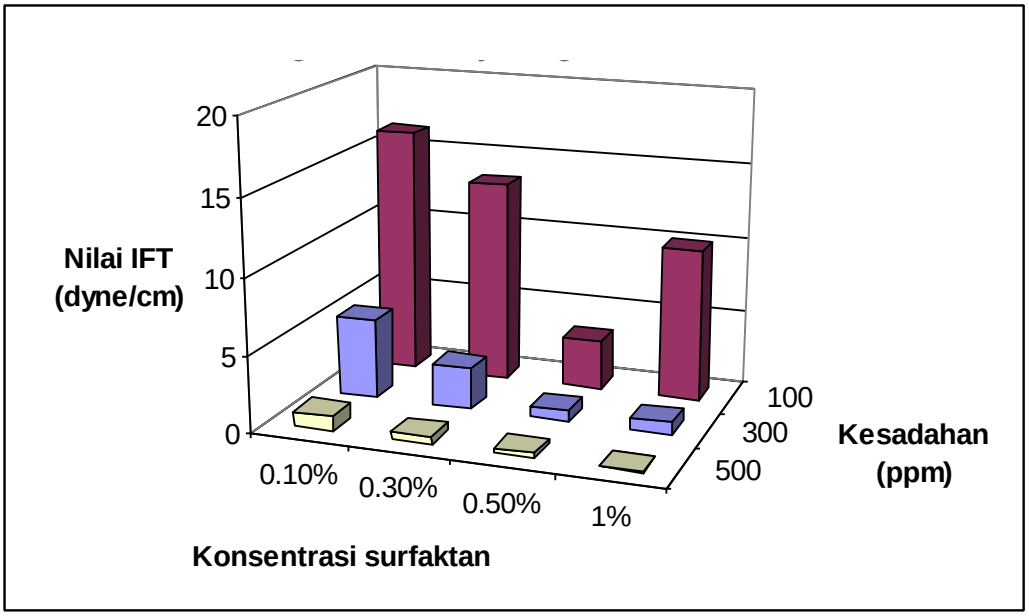
Berdasarkan grafik pada Gambar 1 terlihat bahwa kadar salinitas air formasi memberikan pengaruh terhadap nilai IFT surfaktan MES yang dihasilkan. Semakin tinggi salinitas air formasi yang digunakan, maka nilai IFT surfaktan MES yang dihasilkan cenderung semakin rendah. Pada salinitas 10.000 ppm nilai IFT terendah dihasilkan oleh surfaktan dengan penambahan metanol sebesar 12,5%, pada salinitas 20.000 ppm nilai IFT terendah dihasilkan oleh surfaktan

dengan penambahan metanol sebesar 12,5%, sementara pada salinitas 30.000 ppm nilai IFT terendah dihasilkan oleh surfaktan dengan penambahan metanol sebesar 15%.

Dari hasil pengujian IFT yang dilakukan terhadap salinitas air formasi terlihat bahwa surfaktan MES hasil proses re-esterifikasi dengan penambahan metanol sebesar 12,5% pada salinitas 10.000 ppm dan 20.000 ppm memberikan nilai IFT yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan surfaktan MES hasil proses re-esterifikasi dengan penambahan metanol pada kosentrasi yang lainnya. Dengan demikian surfaktan MES hasil re-etserifikasi dengan penambahan metanol 12,5% yang dipilih untuk dilakukan uji kinerja surfaktan berikutnya yaitu uji kesadahan.

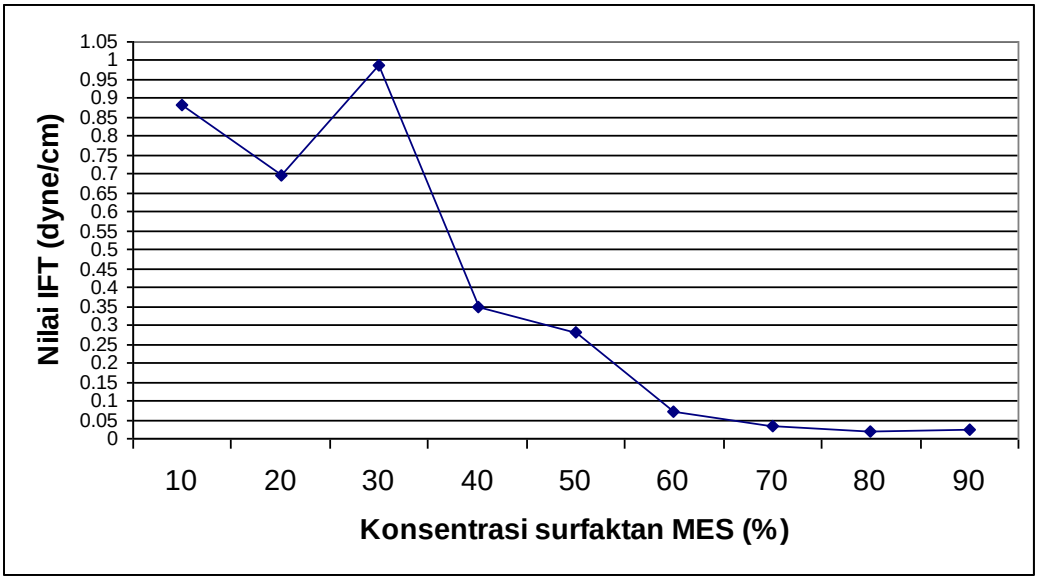
Pengujian stabilitas surfaktan MES terhadap kesadahan dilakukan dengan melakukan pengujian pada beberapa nilai kesadahan air formasi. Hal ini untuk melihat sejauh mana ketahanan surfaktan MES terhadap nilai kesadahan tertentu. Air formasi yang digunakan berupa air formasi sintetik dengan kesadahan 100, 300 dan 500 ppm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa konsentrasi surfaktan MES, yaitu 0,1; 0,3; 0,5 dan 1%. Pada kesadahan 100 ppm, nilai IFT surfaktan MES berkisar antara 16,42 hingga 3,35 dyne/cm. Pada kesadahan 300 ppm, nilai IFT surfaktan MES berkisar antara 5,3 hingga 0,736 dyne/cm. Pada kesadahan 500 ppm, nilai IFT surfaktan MES berkisar antara 0,973 hingga 0,046 dyne/cm. Grafik pengaruh kesadahan terhadap nilai IFT pada berbagai konsentrasi surfaktan MES disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa semakin besar konsentrasi surfaktan MES yang digunakan memperlihatkan kecenderungan semakin menurunnya nilai IFT surfaktan MES pada berbagai kesadahan. Surfaktan MES yang dihasilkan juga memiliki ketahanan terhadap sadah, bahkan semakin tinggi konsentrasi kesadahan yang diujikan memperlihatkan kecenderungan nilai IFT yang semakin rendah.



Gambar 3. Grafik pengaruh kesadahan terhadap nilai IFT pada berbagai konsentrasi surfaktan.

Tahapan penelitian selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan formulasi surfaktan berbasis MES untuk EOR. Formula surfaktan dibuat dari surfaktan MES hasil proses re-esterifikasi dengan penambahan metanol 12,5% yang kemudian dikombinasikan dengan beberapa jenis surfaktan komersial. Surfaktan komersial yang ditambahkan berfungsi sebagai co-surfaktan, dengan fungsi membantu meningkatkan kinerja surfaktan MES sebagai komponen utamanya. Formulasi surfaktan yang dikembangkan berbasis surfaktan MES pada konsentrasi 10 hingga 90 persen, yang kemudian ditambahkan dengan dua jenis co-surfaktan dengan perbandingan konsentrasi yang sama. Hasil pengukuran nilai IFT formula surfaktan berbasis MES pada salinitas 10.000 ppm berkisar antara 0,97 hingga 0,02 dyne/cm. Grafik pengaruh konsentrasi surfaktan MES terhadap nilai IFT pada formula surfaktan berbasis MES dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan grafik terlihat bahwa semakin besar konsentrasi surfaktan MES yang digunakan kecenderungan nilai IFT semakin menurun. Pada konsentrasi 80% nilai IFT terlihat paling rendah yaitu 0,02 dyne/cm, dan kemudian kembali mengalami peningkatan pada konsentrasi surfaktan MES 90%, yaitu 0,03 dyne/cm.



Gambar 4. Grafik pengaruh konsentrasi surfaktan MES pada formula surfaktan berbasis MES terhadap nilai IFT.

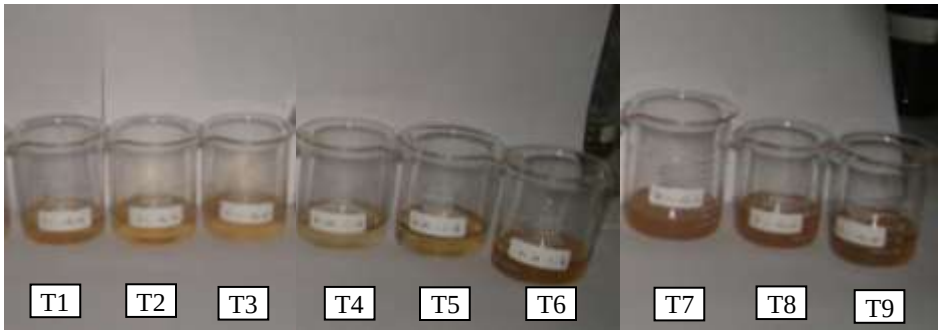
Uji kompatabiliti formula surfaktan berbasis MES dilakukan untuk melihat kesesuaian formula surfaktan yang dihasilkan terhadap air formasi. Pengamatan dilakukan terhadap kelarutan konsentrasi formula surfaktan berbasis MES pada air formasi dari lapangan minyak. Formulasi surfaktan yang digunakan terdiri dari surfaktan MES pada konsentrasi 10 hingga 90 persen, yang kemudian ditambahkan dengan dua jenis co-surfaktan dengan perbandingan konsentrasi yang sama. Hasil pengujian kompatabiliti formula surfaktan MES pada air formasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil kompatabiliti formula surfaktan MES dalam air formasi

No	Kode Formula	Konsentrasi (%)		Kompatabiliti	IFT (dyne/cm)
		Surfaktan MES	Co-surfaktan		
1	T1	10	90	+++++	0,88
2	T2	20	80	+++++	0,69
3	T3	30	70	+++++	0,97
4	T4	40	60	+++++	0,35
5	T5	50	50	+++++	0,27
6	T6	60	40	++++	0,07
7	T7	70	30	++++	0,04
8	T8	80	20	++++	0,02
9	T9	90	10	++++	0,03

Keterangan : +++++ : sangat larut ++++ : larut +++ : agak larut
++ : kurang larut + : tidak larut

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap kompatabiliti formula surfaktan dalam air formasi diperoleh bahwa formula surfaktan pada berbagai taraf konsentrasi MES dapat larut dengan baik dalam air formasi. Penampakan kelarutan formula surfaktan MES dalam air formasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Penampakan kelarutan formula surfaktan MES dalam air formasi.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian IFT yang dilakukan terhadap salinitas air formasi terlihat bahwa surfaktan MES hasil proses re-esterifikasi dengan penambahan metanol sebesar 12,5% pada salinitas 10.000 ppm dan 20.000 ppm memberikan nilai IFT yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan surfaktan MES hasil proses re-esterifikasi dengan penambahan metanol pada kosentrasi yang lainnya.

Uji kinerja surfaktan MES terhadap pengaruh salinitas air formasi menunjukkan pada salinitas 10.000 ppm memberikan nilai IFT berkisar antara 0,20 – 0,45 dyne/cm. Pada salinitas 20.000 ppm memberikan nilai IFT berkisar antara 0,20 – 0,29 dyne/cm, sementara pada salinitas 30.000 ppm memberikan nilai IFT berkisar antara 0,15 – 0,28 dyne/cm. Uji kinerja surfaktan MES terhadap pengaruh kesadahan air formasi menunjukkan stabilitas surfaktan MES pada kesadahan 100 ppm, nilai IFT surfaktan MES berkisar antara 16,42 - 3,35 dyne/cm. Pada kesadahan 300 ppm, nilai IFT surfaktan MES berkisar antara 5,3 - 0,736 dyne/cm. Pada kesadahan 500 ppm, nilai IFT surfaktan MES berkisar antara 0,973 - 0,046 dyne/cm.

Dari hasil formulasi surfaktan MES hasil re-etserifikasi dengan penambahan metanol 12,5% yang dikombinasikan dengan beberapa jenis surfaktan komersial menunjukkan nilai IFT yang berkisar antara 0,97 - 0,02

dyne/cm. Berdasarkan hasil pengamatan terhadap kompatabiliti formula surfaktan dalam air formasi diperoleh bahwa formula surfaktan pada berbagai taraf konsentrasi MES dapat larut dengan baik dalam air formasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Hibah Kompetitif Penelitian Unggulan Strategis Nasional Nasional, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Kompetitif Penelitian Strategis Unggulan Nasional Nomor: 146/SP2H/PP/DP2M/III/2010, tanggal 01 Maret 2010 melalui penelitian berjudul: Peningkatan Nilai Tambah Minyak Sawit Melalui Pengembangan Teknologi Proses Produksi Surfaktan MES dan Aplikasinya untuk Meningkatkan Produksi Minyak Bumi Menggunakan Metode *Huff and Puff*.

DAFTAR PUSTAKA

Foster, N.C. 1996. Sulfonation and Sulfation Processes. In : Soap and Detergents : A Theoretical and Practical Review. Spitz, L. (Ed). AOCS Press, Champaign, Illinois.

Hambali, E., P. Suarsana, Sugihardjo, M. Rivai, E. Zulchaidir. 2010. Peningkatan Nilai Tambah Minyak Sawit Melalui Pengembangan Teknologi Proses Produksi Surfaktan MES dan Aplikasinya Untuk Meningkatkan Produksi Minyak Bumi Menggunakan Metode *Huff and Puff*. *Laporan* Hibah Kompetitif Penelitian Unggulan Strategis Nasional, Dikti, Jakarta.

Lake, L.W. 1987. Enhanced Oil Recovery. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

MacArthur, B.W., B. Brooks, W.B. Sheats, dan N.C. Foster. 2002. Meeting The Challenge of Methylester Sulfonation. www.chemithon.com.

Moretti, G.F. and Adami, I., 2001. Production, Processing and Uses of Methyl Ester and Derivatives. Ballestra Spa, Milano, Italy.

Stein, W. dan H. Baumann. 1974. *α-Sulfonated Fatty Acids and Esters: Manufacturing Process, Properties, and Applications*. AOCS. P : 323 – 329 [April 1974].

PENENTUAN LOKASI OPTIMAL PUSAT-PUSAT PERTUMBUHAN BARU BERBASIS MODEL LGP-IRIO UNTUK MENGATASI KETIMPANGAN PEMBANGUNAN WILAYAH DI INDONESIA

(Determining Optimal Location of New Growth Centers Based on LGP-IRIO Model to Reduce Regional Disparity in Indonesia)

Ernan Rustiadi, Setia Hadi, Didit Okta Pribadi, Andi Syah Putra
Pusat Pengkajian Perencanaan dan Pengembangan Wilayah (P4W) LPPM IPB

ABSTRAK

Pendekatan pembangunan yang sangat menekankan pada pertumbuhan ekonomi mengakibatkan terjadinya kesenjangan pembangunan antar wilayah. Investasi dan sumberdaya terserap dan terkonsentrasi di pusat-pusat pertumbuhan, sementara wilayah-wilayah *hinterland* mengalami pengurasan sumberdaya yang berlebihan. Ketidakseimbangan pembangunan antar wilayah terjadi dalam bentuk buruknya distribusi dan alokasi pemanfaatan sumberdaya yang menciptakan inefisiensi dan tidak optimalnya sistem ekonomi. Karena itu perlu dikembangkan konsep pembangunan antar wilayah yang berimbang melalui pengembangan pusat-pusat pertumbuhan baru di luar Jawa sebagai simpul pertumbuhan yang terintegrasi dengan wilayah *hinterland*-nya Penelitian ini bertujuan: (1) mengidentifikasi neraca sumberdaya wilayah, (2) membangun model optimasi Inter Regional Input Output (IRIO) berbasis kendala potensi sumberdaya wilayah, (3) mengembangkan skenario-skenario pembangunan yang mampu memacu optimalisasi potensi sumberdaya wilayah dan pertumbuhan ekonomi nasional, (4) merumuskan struktur keterkaitan baru yang optimal antar wilayah, dan (5) menentukan lokasi optimal sebagai pusat pertumbuhan baru beserta kawasan hinterlandnya. Dalam penelitian ini dilakukan pengembangan model berbasis persamaan-persamaan optimasi (LGP = *Linear Goal Programming*) dan persamaan IRIO. Permodelan akan dibagi menjadi 3 blok model yang saling terkait yaitu : (1). Model Optimasi IRIO dengan Kendala Daya Dukung Sumberdaya Wilayah, (2) Model Transport untuk Memperoleh Struktur Keterkaitan Ekonomi Baru Antar Wilayah yang Optimal, (3) Model Optimasi P-Median untuk Mengidentifikasi Pusat-Pusat Pertumbuhan Baru dan Kawasan *Hinterland*-nya. Hasil permodelan tahap I menunjukkan bahwa adanya kendala real ketersediaan lahan dan pemenuhan kebutuhan demand tiap provinsi, serta ditetapkannya kendala sasaran peningkatan kapasitas ekonomi wilayah, kapasitas masyarakat dan kapasitas pemerintah, menyebabkan nilai total output optimal mengalami peningkatan dan terdistribusi secara lebih merata. Keterbatasan lahan di Jawa akan menjadi faktor penghambat peningkatan aktivitas ekonomi, sehingga mau tidak mau ketersediaan lahan yang masih luas di luar Jawa harus dimanfaatakan untuk mencapai nilai total output prekonomian yang lebih tinggi. Hasil permodelan tahap II menunjukkan aliran input output optimal yang diperoleh mampu meningkatkan intensitas keterkaitan transaksi input output antar wilayah, meskipun transaksi terbesar masih berlangsung di wilayah Jawa dan sedikit di Sumatera. Hasil permodelan tahap III, diperoleh 7 calon lokasi optimal pusat pertumbuhan baru di luar Jawa. Ketujuh lokasi tersebut adalah **Kota Medan** yang diharapkan mampu melayani wilayah Sumatera bagian barat dan bagian utara. **Kota Pangkal Pinang** yang diharapkan dapat melayani wilayah pantai timur Sumatera. **Kota Palembang** yang diharapkan mampu melayani wilayah Sumatera bagian barat dan selatan. **Kota Balikpapan** yang diharapkan dapat menggerakkan potensi perekonomian di wilayah Kalimantan. **Kota Gorontalo** yang diharapkan dapat dijadikan pusat untuk melayani wilayah Sulawesi bagian utara. **Kota Makasar** yang dapat dijadikan pusat untuk melayani wilayah Sulawesi bagian selatan. Khusus untuk Kota Makasar dan Balikpapan diharapkan juga dapat menjadi alternatif lokasi pusat pertumbuhan bagi

wilayah Bali dan Nusa Tenggara. Selanjutnya **Kota Ternate** diharapkan dapat menjadi pusat pertumbuhan bagi wilayah Provinsi Maluku Utara, Maluku dan Papua.

Kata kunci : Ketimpangan, pusat pertumbuhan, inter regional I-O, LGP, keberimbangan pembangunan.

ABSTRACT

Development policy which is mainly focused on economic growth has caused increasing of regional disparity in Indonesia. Investment and resources have been absorbed and concentrated in limited number of growth centers, while large area of hinterland have to face massive backwash effect of resources. Interregional development disparity happen in the form of unfairness resources uses distribution and allocation that create inefficiency and suboptimal economy system. Therefore, balanced regional development is needed to develop through development of new growth centers in outside Java that must be integrated with their hinterland area. The research has aims: (1) indentifying resources quantity of each province including natural, infrastructure and human resource, (2) developing optimization model Interregional Input Output (IRIO) based on resources constraint of each province, (3) developing scenario of development policy to reach optimization of resources use of each region and national development, (4) defining new optimal structure of regional linkages, (5) defining optimal location as new growth centers including their hinterland area. The research was conducted by developing a model base on serial equations of linear goal programming (LGP) and IRIO. The model could be divided in three groups consisted of: (1) IRIO optimization model base on regional resources constraint, (2) Transport model to develop new optimal linkages of economic structure among regions, (3) P-median model to define new growth centers and their hinterland area. The result of first model showed that land availability and necessity to meet demand of all provinces, and setting the target to increase economic growth, household income, and government tax have caused increasing value of optimal total output which is distributed more equal. Limited land availability in Java has become important constraint that caused economic activities are shifted to outside Java that has large area of land availability. The result of second model showed optimal flow of input-output could increase intensity of economic transaction among province although it was still dominated by Java-Sumatra linkages. The result of third model showed that there are 7 promoted province that represented by their capital city for developing new growth centers in outside Java. Those locations consisted of Medan that could serve western and northern region of Sumatra, Tanjung Pinang that could serve east coast region of Sumatra, Palembang that could serve western and southern of Sumatra, Balikpapan that could serve Kalimantan region, Gorontalo that could serve northern region of Sulawesi, Makasar that could serve southern region of Sulawesi and Nusa Tenggara, and Ternate that could serve North Maluku, Maluku, and Papua.

Keywords : Regional disparity, growth center, interregional Input-Output, linier goal programming, balanced regional development.

PENDAHULUAN

Proses pembangunan nasional yang sangat menekankan kepada pencapaian pertumbuhan ekonomi, secara spasial diterjemahkan ke dalam bentuk pendekatan *Growth Pole* yang melahirkan kebijakan pengembangan wilayah

melalui pembangunan pusat-pusat pertumbuhan. Pusat-pusat pertumbuhan ini diharapkan mampu mendorong pertumbuhan di wilayah-wilayah sekitarnya melalui proses penetesan ke bawah (*trickle down effect*). Tetapi pada kenyataannya secara netto telah terjadi pengurasan sumber daya dari wilayah sekitarnya (*backwash effect*). Wilayah *hinterland* menjadi lemah karena pengurasan sumberdaya yang berlebihan, sedangkan pusat-pusat pertumbuhan pada akhirnya menjadi lemah karena proses urbanisasi yang luar biasa (Rustiadi et al., 2009).

Sebagai akibatnya timbul kesenjangan yang semakin melebar antara wilayah Jawa dan luar Jawa, Jabodetabek dan non Jabodetabek, serta Kawasan Barat dan Kawasan Timur Indonesia. Kesenjangan pembangunan ekonomi pada akhirnya mengganggu kinerja pembangunan agregat nasional karena tidak berjalannya pembangunan ekonomi lokal telah mendorong meluasnya masalah-masalah kemiskinan, pengangguran, dan kerusakan sumber daya alam. Disamping itu pemusatan kegiatan ekonomi yang berlebihan di pusat-pusat pertumbuhan juga menciptakan kerusakan karena melebihi daya dukung.

Permasalahan ini sebenarnya juga disadari oleh para pengambil kebijakan pembangunan. Karena itu pemerintah telah melakukan upaya-upaya untuk mendorong desentralisasi dan membuat program-program pembangunan yang dikhususkan bagi wilayah-wilayah yang kurang mendapat perhatian, seperti Kawasan Pengembangan Ekonomi Terpadu (KAPET) Kawasan Andalan (KADAL), Kawasan Sentra Produksi (KSP), Kawasan Pengembangan Ekonomi Lokal (KAPEL), Kawasan Tertinggal (KATING), *Poverty Alleviation through Rural-Urban Linkages* (PARUL) dimana semua program ini diharapkan dapat mengurangi disparitas antar wilayah.

Namun demikian kebijakan tersebut justru makin memperkuat proses pengurasan sumber daya karena dalam implementasinya tetap didasarkan kepada pendekatan *Growth Pole* melalui pembangunan pusat-pusat pertumbuhan baru. Dalam ranah akademis, pengembangan wilayah berbasis kepada *Growth Pole Theory* telah ditinggalkan dan diganti dengan pendekatan sistem. Artinya perencanaan pengembangan wilayah tidak cukup hanya membangun pusat pertumbuhan saja, tetapi harus dirumuskan secara jelas struktur keterkaitan dan

hubungan fungsional yang sinergis dan saling memperkuat antara pusat pertumbuhan dengan wilayah *hinterland*-nya sebagai satu kesatuan sistem wilayah.

Dalam beberapa penelitian (Hill et al., 2008; Aritenang, 2008) disebutkan bahwa ketimpangan wilayah di Indonesia (khususnya ketimpangan antar wilayah provinsi di Indonesia) semakin lama semakin menurun. Namun yang menjadi persoalan, penyebab menurunnya ketimpangan tersebut adalah semakin menyebarnya investasi di luar Jawa, yang lebih dititikberatkan pada ekstraksi sumber daya alam tanpa diiringi dengan meningkatnya perkembangan wilayah internal dan meningkatnya akses penduduk terhadap investasi tersebut (Pribadi, 2010). Karena itu diperlukan pusat-pusat pertumbuhan baru yang dapat berfungi mendorong akumulasi nilai tambah melalui pengembangan pengembangan inovasi dan teknologi dan sekaligus menangkap nilai tambah melelui pengembangan pasar internal dan eksternal. Dengan demikian tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Membangun model optimasi Inter Regional Input Output berbasis kendala potensi sumberdaya wilayah
2. Merumuskan struktur keterkaitan ekonomi baru yang optimal antar wilayah
3. Menentukan lokasi optimal sebagai pusat pertumbuhan baru beserta kawasan *hinterland*-nya.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan selama 8 bulan dan melingkupi seluruh wilayah Indonesia dengan unit wilayah provinsi. Penelitian ini berbasis kepada *desk study* dengan menggunakan data sekunder dan hasil penelitian-penelitian sebelumnya. Data-data sekunder yang digunakan antara lain :

1. Statistik Indonesia 2009
2. Statistik Potensi Desa se-Indonesia 2006-2008
3. Statistik Listrik PLN 2004-2008
4. Survei Sosial Ekonomi Nasional (Susenas) 2005
5. Survei Angkatan Kerja Nasional (Sakernas) 2006
6. Data IRIO antar Sektor dan antar Provinsi Tahun 2005
7. Atlas Neraca Penatagunaan Tanah Nasional 2007
8. Atlas Arahan Tata Ruang Pertanian Indonesia 2001

Pengembangan Model LGP IRIO
Model Optimasi IRIO dengan Kendala Daya Dukung Wilayah (Permodelan Tahap I)

Model ini dikembangkan melalui pendekatan model LGP (*Linear Goals Programming*) yang dikombinasikan dengan model IRIO (*Interregional Input-Output*). Pada prinsipnya model ini dibangun untuk menentukan nilai output optimal yang dapat dihasilkan oleh setiap wilayah provinsi berdasarkan kendala keterbatasan sumber daya yang dimiliki. Dengan mengetahui nilai output, maka dampak dari pembentukan nilai optimal tersebut juga data diidentifikasi. Berikut ini akan diuraikan persamaan untuk fungsi tujuan dan masing-masing fungsi kendalanya, baik berupa kendala real maupun kendala sasaran.

Fungsi Tujuan
Meminimisasi ketidaktercapaian sasaran total

$$Z = \sum_i WV_i \times NEGV_i + WV1_i \times \quad NEGV1_i + WV4_i \times NEGV4_i$$

Fungsi Kendala :

1. Kendala Real Pemenuhan Total Demand

$$TOTDem_i = \sum_j b_{i,j} \times F_j \geq Q_i$$

2. Kendala Real Ketersediaan Lahan TPLB

$$CtrlTLB_i = 0.5 \times KH1_i \times \left(\sum_j b_{i,j} \times F_j \right) = H1MAX_i$$

(keterangan : asumsi produktivitas lahan pertanian dapat ditingkatkan 2 kali lipat)

3. Kendala Real Ketersediaan Lahan TPLK

$$CtrlTLK_i = 0.5 \times KH_2 \times \left(\sum_j b_{i,j} \times F_j \right) = H2MAX_i$$

(keterangan : asumsi produktivitas lahan pertanian dapat ditingkatkan 2 kali lipat)

4. Kendala Real Ketersediaan Lahan Perkebunan

$$CtrlKeb_i = 0.5 \times KH_3 \times \left(\sum_j b_{i,j} \times F_j \right) = H3MAX_i$$

(keterangan : asumsi produktivitas lahan pertanian dapat ditingkatkan 2 kali lipat)

5. Kendala Sasaran Peningkatan Energi Listrik

$$GoalE_i = KE_i \times \left(\sum_j b_{i,j} \times F_j \right) + NEGE_i - POSE_i = E_i$$

6. Kendala Sasaran Pengendalian Impor

$$GoalM_i = KM_i \times \left(\sum_j b_{i,j} \times F_j \right) + NEGM_i - POSM_i = M_i$$

7. Kendala Sasaran Pengendalian Subsidi

$$GoalV5_i = KM_i \times \left(\sum_j b_{i,j} \times F_j \right) + NEGV5_i - POSV5_i = V5_i$$

8. Kendala Sasaran Peningkatan Serapan Tenaga Kerja

$$GoalL_i = KL_i \times \left(\sum_j b_{i,j} \times F_j \right) + NEGL_i - POSL_i = L_i$$

9. Kendala Sasaran Peningkatan Pajak

$$GoalV4_i = KL_i \times \left(\sum_j b_{i,j} \times F_j \right) + NEGV4_i - POSV4_i = V4_i$$

10. Kendala Sasaran Peningkatan Nilai Tambah Total

$$GoalV_i = KL_i \times \left(\sum_j b_{i,j} \times F_j \right) + NEGV_i - POSV_i = TOTV_i$$

11. Kendala Sasaran Peningkatan Pendapatan Masyarakat

$$GoalV1_i = KL_i \times \left(\sum_j b_{i,j} \times F_j \right) + NEGV1_i - POSV1_i = V1_i$$

Keterangan Variabel :

i : Wilayah dan/atau sektor input
j : Wilayah dan/atau sektor output
F : *Final Demand* Agregat
b : Matriks invers Leontief
Z : Nilai total ketidaktercapaian sasaran
WV_i : Bobot sasaran nilai tambah total (0.42)
WVl_i : Bobot sasaran peningkatan pendapatan masyarakat (0.36)
$WV4_i$: Bobot sasaran peningkatan pajak (0.22)
Q_i : Intermediate dan Final demand
$H1Max_i$: Limit area TPLB (Tanaman Pangan Lahan Basah)
$H2Max_i$: Limit area TPLK (Tanaman Pangan Lahan Kering)
$H3Max_i$: Limit area tanaman perkebunan
E_i : Penggunaan Energi Listrik
M_i : Impor dari luar negeri
$V5_i$: Minus subsidi
L_i : Serapan tenaga kerja
$V4_i$: Pajak tak langsung
V_i : Upah & gaji
$TOTV_i$: Nilai tambah total
$POSM_i$: Penambahan terhadap sasaran impor
$NEGM_i$: Pengurangan terhadap sasaran impor
$POSV5_i$: Penambahan terhadap sasaran subsidi
$NEGV5_i$: Pegurangan terhadap sasaran subsidi
$POSV4_i$: Penambahan terhadap sasaran pajak
$NEGV4_i$: Pengurangan terhadap sasaran pajak
$POSV_i$: Penambahan terhadap sasaran nilai tambah total
$NEGV_i$: Pengurangan terhadap sasaran nilai tambah total
$POSL_i$: Penambahan terhadap sasaran serapan tenaga kerja
$NEGL_i$: Pengurangan terhadap sasaran serapan tenaga kerja
$POSV1_i$: Penambahan terhadap sasaran peningkatan pendapatan masyarakat
$NEGV1_i$: Pengurangan terhadap sasaran peningkatan pendapatan masyarakat
$POSE_i$: Penambahan terhadap sasaran peningkatan energi listrik
$NEGE_i$: Pengurangan terhadapa sasaran peningkatan energi listrik
$KH1_i$: Koefisien penggunaan lahan padi
$KH2_i$: Koefisien penggunaan lahan tanaman bahan pangan lain
$KH3_i$: Koefisien penggunaan lahan tanaman perkebunan
KE_i : Koefisien penggunaan energi listrik
KM_i : Koefisien impor
$KV5_i$: Koefisien minus subsidi
KL_i : Koefisien serapan tenaga kerja
$KV4_i$: Koefisien pendapatan pajak
KV_i : Koefisien Nilai tambah Total
$KV1_i$: Koefisien Pendapatan Masyarakat

Data kendala sumber daya lahan diperoleh dari Atlas Arahan Tata Ruang Pertanian Indonesia (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, 2001) dan Atlas Neraca Penatagunaan Tanah Nasional (BPN, 2007). Sementara data-data terkait dengan kendala sasaran diperoleh dari berbagai publikasi BPS (BPS 2006, 2008, 2009a, 2009b).

Model Transportasi (Permodelan Tahap II)

Dalam model ini yang menjadi faktor penghambat transportasi adalah jarak *centroid* antar Ibu Kota Provinsi. Kelemahan terbesar dari penggunaan data jarak centroid adalah keterbatasanya dalam merepresentasikan biaya transportasi. Idealnya akan lebih baik jika digunakan data jarak berdasarkan peta jaringan transportasi. Sayangnya data ini tidak mudah diperoleh sehingga jarak *centroid* digunakan sebagai variabel estimasi jarak geografis antar provinsi. Namun demikian dalam penyusunan model ini sudah tersedia ruang untuk dilakukan *updating* data termasuk memperbaiki data biaya transportasi antar provinsi. Persamaan dari model transportasi ini dapat diuraikan sebagai berikut.

Fungsi Tujuan :
Minimalisasi hambatan transportasi

$$Z = \sum_{i,j} C_{i,j} \times X_{i,j}$$

Fungsi kendala :

1. Kendala Total Produksi yang harus Terserap

$$SUPPLY_i = \sum_j X_{i,j} = A_i$$

2. Kendala Pemenuhan Demand dan Minimalisasi Perubahan Struktur IRIO

$$DEMAND_{i,j} = WQ_{i,j} \times X_{i,j} \geq IO_{i,j}$$

Keterangan Variabel :

$C_{i,j}$: Hambatan pentransportasian dari wilayah asal ke-*i* ke wilayah tujuan ke-*j*
$X_{i,j}$: Aliran input-output optimal dari wilayah asal ke-*i* ke wilayah tujuan ke-*j*
A_i : Total suplai/produksi dari wilayah ke-*i* yang harus terserap
$WQ_{i,j}$: Pembobot Struktur Transaksi Input-Output antar Wilayah
$IO_{i,j}$: Struktur keterkaitan input output eksisting antar wilayah berbasis data IRIO tahun 2005

Hasil dari model optimasi di atas adalah aliran input-output optimal antar provinsi. Nilai aliran input-output optimal ini selanjutnya akan dijadikan sebagai data dasar untuk membangun permodelan tahap berikutnya.

Model Optimasi P-Median

Pada permodelan tahap III akan dicari wilayah provinsi yang mampu menjadi simpul sehingga aliran input-output optimal antar wilayah dapat terfasilitasi dengan baik. Simpul-simpul ini dapat diterjemahkan sebagai pusat-pusat pertumbuhan yang mampu melayani kawasan atau area di sekitarnya. Dalam hal ini fungsi tujuan yang ingin dicapai adalah efisiensi hambatan

transportasi sehingga simpul atau pusat pertumbuhan yang ada dapat melayani wilayah sekitarnya secara efisien. Dalam hal ini hambatan transportasi didasarkan pada variabel jarak *centroid* antar Ibu Kota Provinsi. Meskipun penggunaan jarak *centroid* memiliki berbagai kelemahan, tetapi variabel ini masih dapat digunakan di tengah keterbatasan yang ada. Berikut ini diuraikan fungsi tujuan dan kendala yang akan dibangun pada permodelan tahap III.

Fungsi tujuan :
Minimalisasi hambatan transportasi

$$Z = \sum_{i,j} C_{i,j} \times X_{i,j}$$

Fungsi kendala :

1. Kendala wilayah tertentu hanya dilayani oleh satu pusat pertumbuhan

$$Kdl_i = \sum_{j} X_{i,j} = W$$

Catatan : kendala ini hanya diterapkan untuk wilayah di Provinsi non Jawa karena alasan bahwa pusat pertumbuhan eksisting banyak terkonsentrasi di Jawa dan diperlukan pembangunan pusat pertumbuhan baru di luar Jawa.

2. Kendala jumlah simpul atau pusat pertumbuhan yang dapat dibangun

$$Kdll_i = \sum_{j} Y_j = F$$

3. Kendala bahwa suatu wilayah terlayani jika pusat pertumbuhannya tersedia

$$Kdlll_i = X_{i,j} \le Y_j$$

Keterangan variabel :

C_{ij} : hambatan transportasi
X_{ij} : pusat pertumbuhan ke-*i* yang melayani wilayah ke-*j*
Y_j : pusat pertumbuhan ke-*j*

Catatan : dalam model P-median variabel keputusan X_{ij} dan Y_j bersifat variabel biner yaitu memiliki nilai 0 dan 1, dimana 0 menunjukkan bahwa wilayah tersebut tidak dapat menjadi simpul dan 1 menunjukkan bahwa wilayah tersebut dapat dijadikan simpul yang efisien.

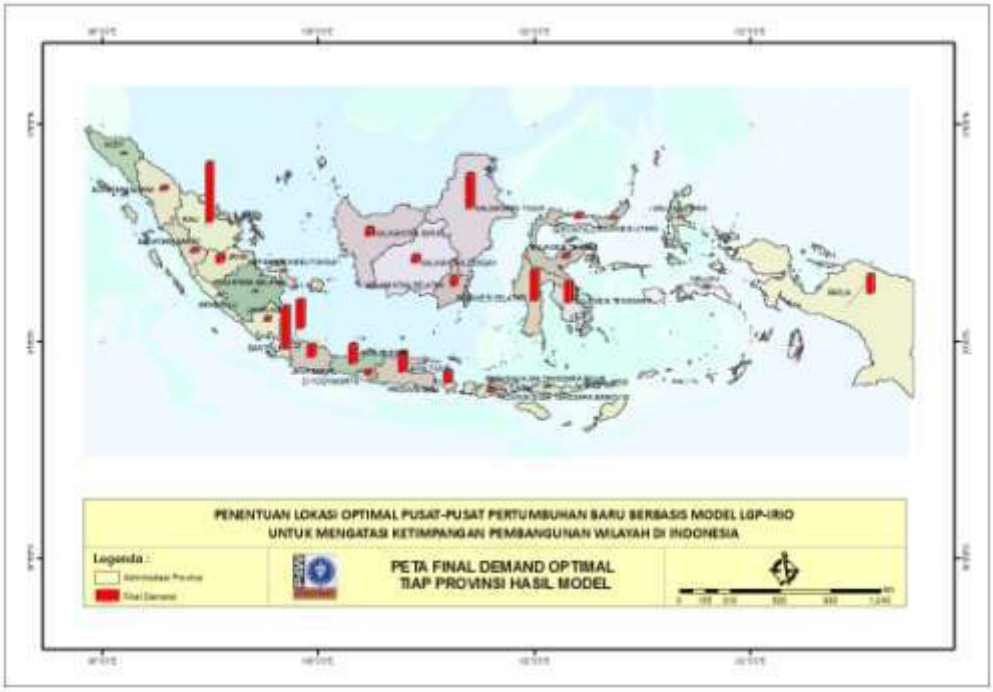
Dari permodelan tahap III informasi yang diperoleh adalah lokasi pusat-pusat pertumbuhan baru sebagai hasil akhir yang dijadikan target akhir dari penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Permodelan Tahap I

Hasil dari model tahap I menunjukkan bahwa kenaikan nilai *final demand* signifikan ternyata masih terjadi di Jakarta, diikuti dengan kenaikan di sebagian besar provinsi di Jawa. Meskipun demikian kenaikan *final demand* juga mulai

terjadi di wilayah-wilayah di luar Jawa seperti Riau, Kalimantan Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Papua. Hasil model sedikit banyak telah mengubah konfigurasi struktur ekonomi regional yang selama ini selalu terpusat di Jawa. Kondisi peningkatan final demand yang relatif terdistribusi secara merata dapat dilihat pada Gambar 1.

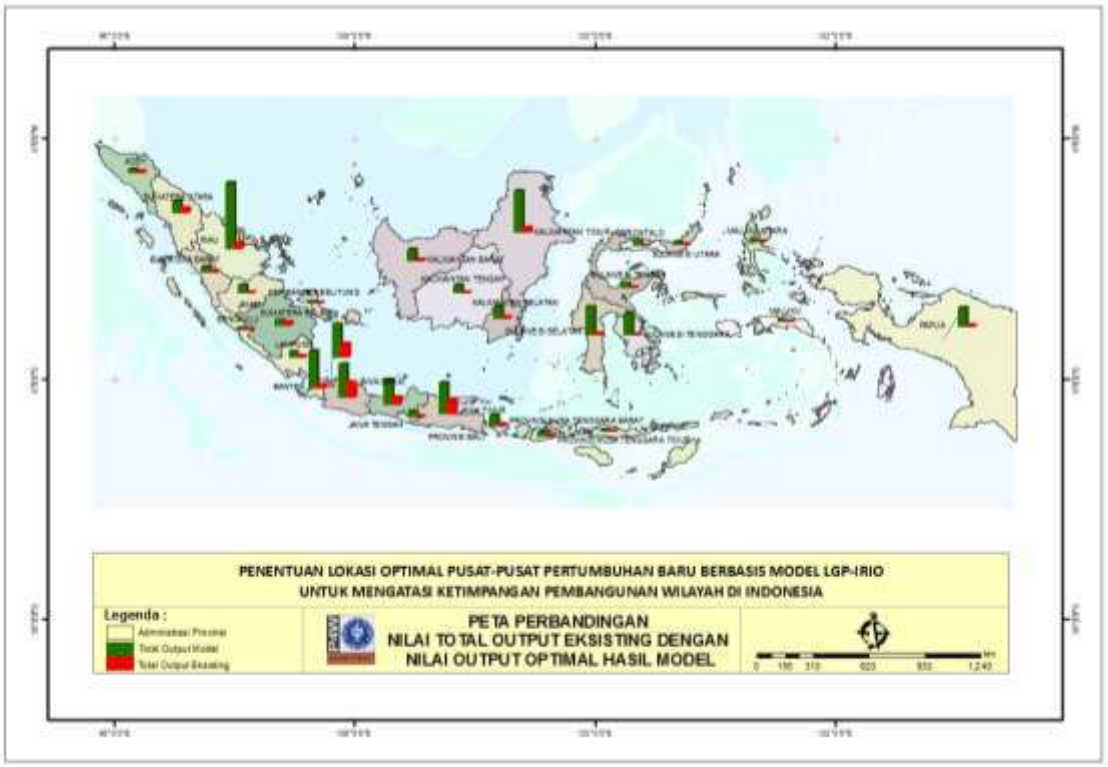


Gambar 1. Nilai *Final Demand* Optimal Tiap Provinsi Hasil Model.

Selanjutnya jika produktivitas lahan yang masih potensial dapat dimanfaatkan dan ditingkatkan produktivitasnya maka nilai total output yang dihasilkan oleh setiap wilayah provinsi akan meningkat (Gambar 2). Peningkatan produktivitas sepertinya menjadi suatu keharusan karena pada tahap uji model, jika tidak ada kenaikan produktivitas, sulit sekali diharapkan nilai total output seluruh provinsi akan meningkat. Beberapa provinsi yang ketersediaan lahannya sangat terbatas seperti di Jawa justru akan mengalami penurunan nilai total output karena meningkatnya kinerja aktivitas ekonomi tidak ditunjang oleh daya dukung lahan yang tersedia.

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa dengan mengoptimalkan potensi lahan pertanian yang tersedia, konsentrasi aktivitas ekonomi yang terjadi di Jawa dapat didistribusikan secara lebih merata ke wilayah-wilayah lainnya. Hal ini terjadi

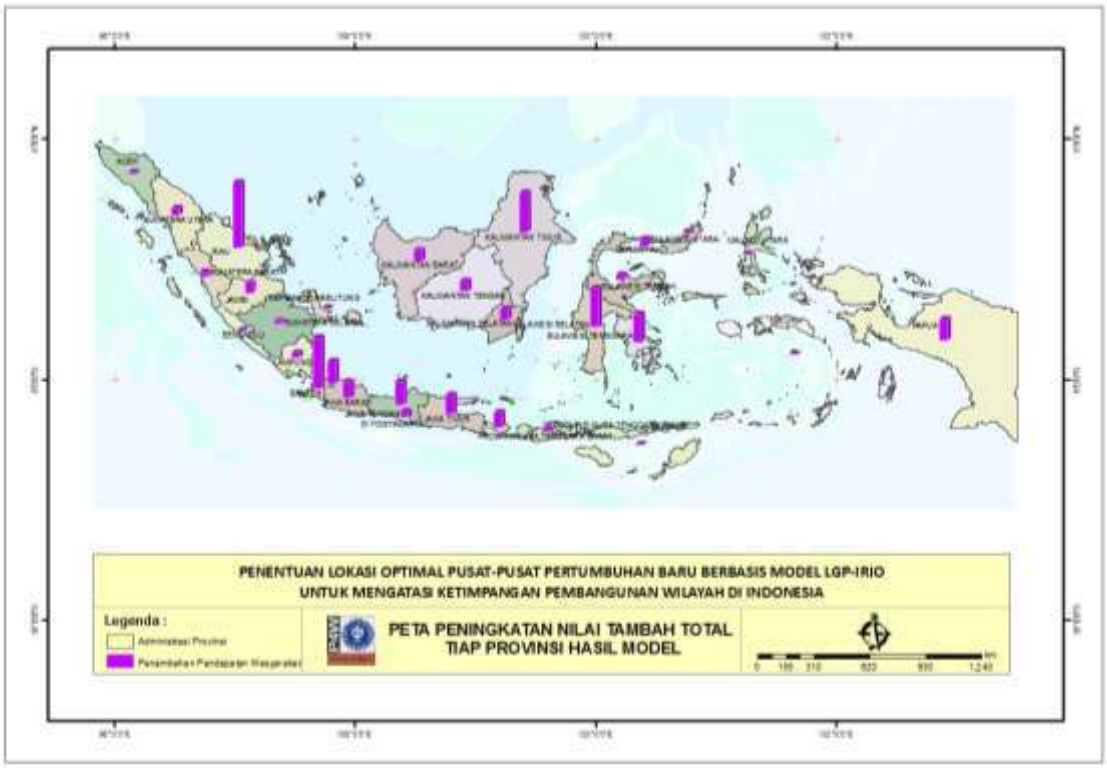
karena pada kondisi saat ini potensi lahan pertanian di Jawa sudah sangat sempit, sedangkan potensi lahan pertanian di luar Jawa masih sangat luas. Meskipun secara alamiah lahan di Jawa memiliki tingkat kesuburan yang lebih tinggi, namun ketersediaanya yang terbatas memberikan ruang untuk mengembangkan aktivitas pertanian di wilayah lainnya. Namun kebijakan pembangunan selama ini yang sangat terkonsentrasi di Jawa telah mengakibatkan konsentrasi ekonomi yang luar biasa yang justru menguras potensi sumber daya alam yang ada di daerah untuk menunjang pertumbuhan ekonomi yang tinggi di Jawa. Jika setiap wilayah mampu mengoptimalkan sumber daya alam khususnya lahan yang dimilikinya maka ketimpangan antar wilayah yang selama ini terus menjadi salah satu masalah nasional akan dapat dikurangi.



Gambar 2. Perbandingan Nilai Total Ouput Eksisting dengan Nilai Output Optimal Hasil Model.

Selanjutnya dilihat dari pencapaian tujuan pembangunan salah satu tujuan terpenting yang diberikan bobot tinggi di dalam model ini adalah pencapaian pertumbuhan ekonomi. Pertumbuhan ekonomi ini dapat dilihat dari besaran nilai tambah total yang dihasilkan dari kondisi yang optimal sebagaimana yang dikembangkan dalam model ini. Dapat dilihat bahwa hasil model menunjukkan

besaran penambahan nilai tambah total yang cukup signifikan di seluruh daerah. Jika dihitung secara total nasional (penjumlahan nilai tambah seluruh provinsi) hasil model menunjukkan terjadi penambahan 4,54 kali dari nilai tambah total saat ini. Hasil ini jauh lebih besar dari perhitungan kenaikan nilai tambah total selama 20 tahun dengan asumsi tingkat pertumbuhan 7% dimana diperoleh nilai tambah total untuk seluruh provinsi hanya meningkat 3.87 kali lipat.

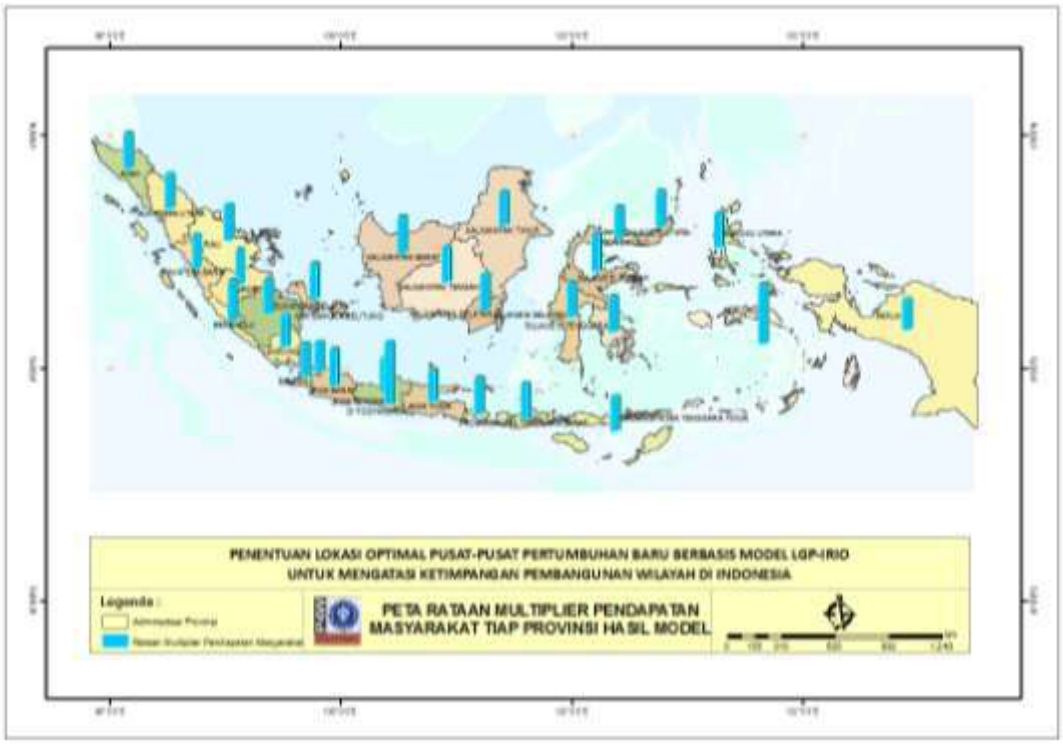


Gambar 3. Peningkatan Nilai Tambah Total Tiap Provinsi Hasil Model.

Dapat dilihat pula bahwa untuk provinsi-provinsi di Jawa kenaikan nilai tambah totalnya tidak terlalu signifikan, tetapi untuk provinsi di luar Jawa khususnya di Kawasan Timur Indonesia terjadi peningkatan nilai tambah total yang signifikan jika potensi lahan yang tersedia dapat dimanfaatakan secara optimal. Dengan demikian hanya dari optimasi sumber daya lahan sesuai arahan tata ruang pertanian dengan ditambahkan upaya peningkatan produktivitas maka Indonesia sudah akan dapat mencapai pertumbuhan ekonomi yang cukup signifikan dan distribusinya juga akan lebih merata (Gambar 3). Mengingat banyak lahan-lahan terlantar yang tidak termanfaatkan dan banyaknya lahan-lahan yang terdegradasi saat ini, diharapkan hasil model ini mampu memberikan

gambaran untuk mendorong ke arah pemanfaatan potensi sumber daya lahan pertanian ke arah pemanfaatan optimal.

Berikutnya dilihat dari pencapaian tujuan untuk mendorong kapasitas masyarakat berdasarkan peningkatan pendapatan, secara siginifikan peningkatan pendapatan hampir terjadi di semua provinsi (Gambar 4). Meskipun peningkatan pendapatan masyarakat yang signifikan masih terjadi di wilayah-wilayah provinsi di Jawa, namun dapat dilihat bahwa peningkatan pendapatan yang signifikan juga mulai banyak terjadi di wilayah-wilayah di luar Jawa. Peningkatan pendapatan yang signifikan di luar Jawa terjadi di provinsi-provinsi yang kaya dengan sumber daya alam seperti Riau, Kalimantan Timur, dan Papua. Demikian pula di wilayah-wilayah provinsi yang juga memiliki tingkat perkembangan wilayah cukup baik seperti Provinsi Sulawesi Selatan, Gorontalo dan Sulawesi Tenggara.



Gambar 4. Peningkatan Pendapatan Masyarakat Tiap Provinsi Hasil Model

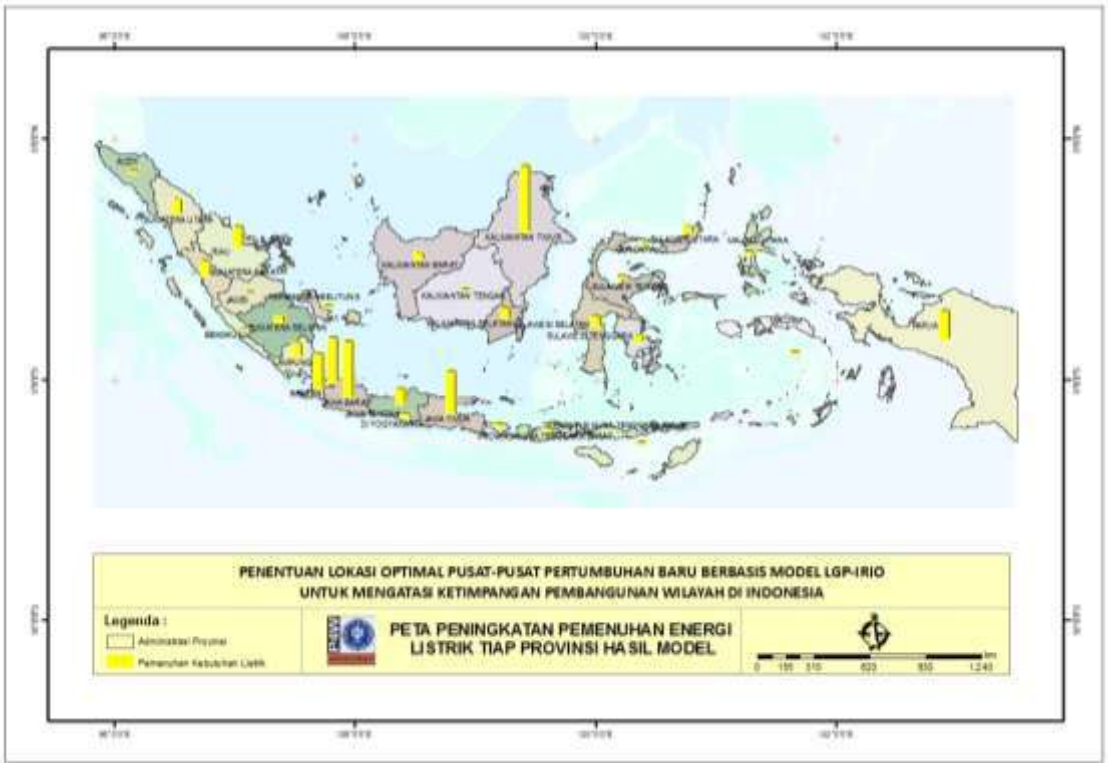
Kendala sasaran berikutnya yang mendapat bobot prioritas adalah kapasitas pemerintah yang direpresentasikan dengan nilai peningkatan pajak (Gambar 5). Dapat dilihat bahwa peningkatan yang signifikan terjadi di Provinsi DKI Jakarta, Jawa Timur, dan Sulawesi Selatan yang selama ini merupakan wilayah yang menjadi simpul distribusi produk-produk sumber daya alam

Indonesia. Peningkatan nilai pajak yang signifikan juga terjadi di Provinsi Riau, Kalimantan Timur dan Papua sebagai wilayah-wilayah yang memiliki potensi sumber daya alam cukup tinggi. Meskipun posisi DKI Jakarta dan Jawa Timur dalam peningkatan pajak masih cukup tinggi, namun penambahan nilai pajak optimal yang terjadi di Riau, Sulawesi Selatan, Kalimantan Timur dan Papua juga dapat dijadikan pijakan untuk meningkatkan kapasitas pemerintah di wilayah-wilayah provinsi di luar Jawa. Tentunya dengan mekanisme kerjasama yang tepat antar Pemda diharapkan kapasitas Pemda yang cukup kuat pendapatannya dapat mendorong peningkatan kapasitas Pemda di wilayah-wilayah di sekitarnya.

Gambar 5. Peningkatan Pajak Tiap Provinsi Hasil Model.

Selanjutnya kendala sasaran tidak langsung untuk menunjang pencapaian sasaran langsung akan dibahas satu per satu. Pertama adalah kendala perlunya penambahan kapasitas energi listrik. Dari Gambar 6 dapat dilihat distribusi energi listrik yang harus dipenuhi untuk wilayah DKI Jakarta, Jawa Barat dan Banten masih sangat tinggi termasuk juga Jawa Timur. Hal ini karena aktivitas ekonomi yang telah berkembang ke arah industri dan jasa di Jawa sangat bergantung kepada ketersediaan energi listrik.

Kebutuhan pasokan listrik yang cukup signifikan juga terjadi di wilayah-wilayah lain yang aktivitas industri dan jasanya relatif berkembang. Wilayah-wilayah tersebut antara lain mencakup Sumatera Utara, Riau, dan Sumatera Barat, Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, Sulawesi Selatan dan Sulawesi Utara. Sementara kebutuhan listrik di Papua sangat signifikan karena infrastruktur kelistrikan di wilayah ini masih sangat terbatas.



Gambar 6. Peningkatan Pemenuhan Energi Listrik Tiap Provinsi Hasil Model.

Kendala sasaran tidak langsung berikutnya adalah perlunya penambahan dan pengurang impor. Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa wilayah yang masih membutuhkan impor umumnya terdapat di wilayah-wilayah yang memiliki kota-kota besar atau memiliki limpahan sumber daya alam tinggi. Wilayah-wilayah dengan kota-kota besar adalah Banten, DKI Jakarta, Sumatera Utara, dan Sulawesi Selatan. Sementara wilayah-wilayah yang kaya dengan sumber daya alam adalah Riau, Kalimantan Timur dan Papua. Tingginya keterkaitan wilayah-wilayah tersebut dengan ekonomi global seharusnya dimanfaatkan untuk menarik nilai tambah dan bukannya dibelanjakan untuk barang impor dari luar negeri.

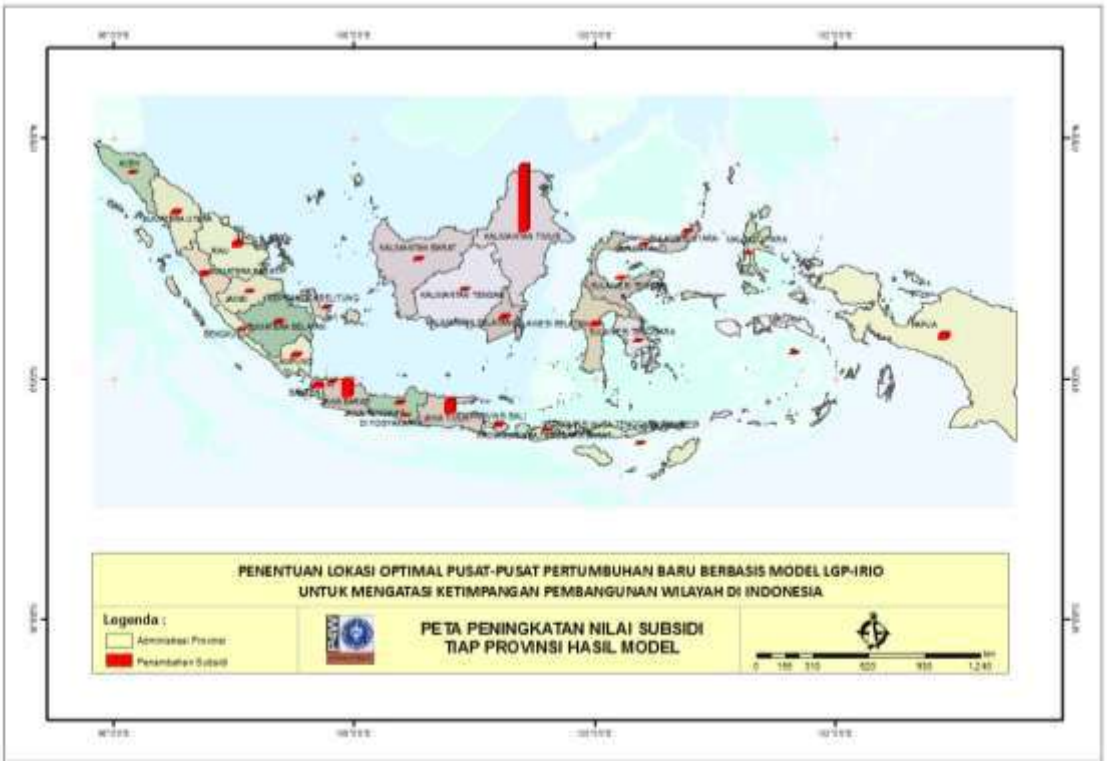
Hasil model juga menunjukkan terjadinya pengurangan nilai impor di Sumatera Barat, D.I Yogyakarta dan Gorontalo (Gambar 8). Kemungkinan besar

naiknya nilai aliran input output secara optimal telah mampu mengurangi ketergantungan ketiga provinsi ini terhadap kebutuhan barang-barang impor.

Gambar 7. Peningkatan Nilai Impor Tiap Provinsi Hasil Model

Gambar 8. Pengurangan Nilai Impor Tiap Provinsi Hasil Model

Selain ketergantungan impor, terdapat juga besaran nilai subsidi yang harus diberikan untuk mencapai kondisi optimal. Meskipun secara umum nilainya tidak signifikan tetapi di beberapa provinsi nilai tambahan subsidi yang harus diberikan relatif tinggi (Gambar 9) seperti di Provinsi Kalimantan Timur, Jawa Barat, Jawa Timur dan Papua. Besaran nilai subsidi yang sangat tinggi di Kalimantan Timur dikhawatirkan justru dapat menghambat pengembangan aktivitas ekonomi lokal di wilayah itu sendiri.



Gambar 9. Peningkatan Nilai Subsidi Tiap Provinsi Hasil Model

Kendala berikutnya adalah peningkatan serapan tenaga kerja. Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa peningkatan serapan tenaga kerja masih dominan terjadi di Jawa khususnya DKI Jakarta yang banyak diisi oleh pekerja di sektor industri dan jasa, serta di Jawa Tengah yang aktivitas pertaniannya masih dikuasai oleh pertanian rakyat. Selain itu serapan tenaga kerja yang tinggi juga terjadi di Sulawesi terutama di Sulawesi Tenggara, Gorontalo dan Sulawesi Selatan. Di wilayah-wilayah ini aktivitas pertanian memang masih didominasi oleh aktitas pertanian rakyat. Serapan tenaga kerja tinggi juga terjadi di Papua yang banyak

mengandalkan aktivitas ekonominya kepada sumber daya alam dan sebagian besar masyarakat memiliki akses terhadap sumber daya alam yang ada.

Sementara itu dapat juga dilihat bahwa dominasi aktivitas pertanian di Sumatra dan Kalimantan ternyata tidak mendorong peningkatan serapan tenaga kerja yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas pertanian di wilayah provinsi di kedua pulau ini banyak didominasi oleh aktivitas para pemodal besar di bidang pertanian.

Gambar 10. Serapan Tenaga Kerja Tiap Provinsi Hasil Model

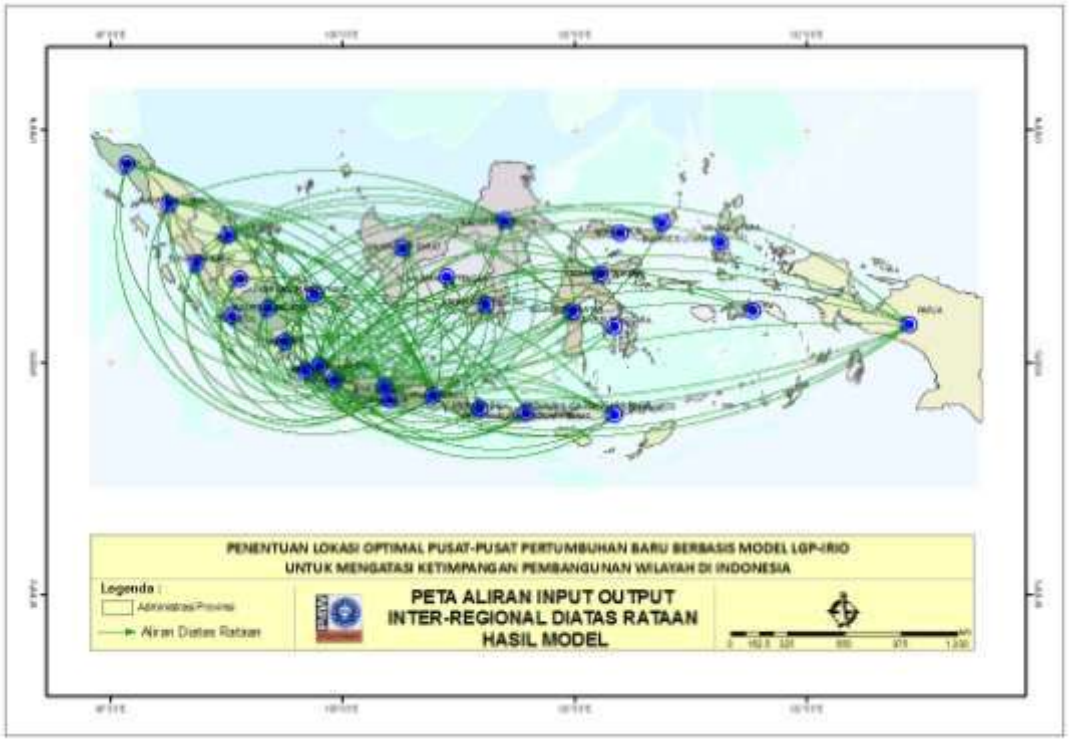
Hasil Permodelan Tahap II

Berdasarkan data IRIO tahun 2005, 82.64% dari aliran input output ditransaksikan di dalam wilayah provinsi itu sendiri. Artinya hanya sekitar 13.76% yang ditransaksikan antar provinsi. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antar wilayah dalam konteks ekonomi di Indonesia belum berkembang sebagaimana dikemukakan oleh Bappenas dalam RPJMN 2010-2014.

Hasil permodelan tahap II menunjukkan bahwa proses optimasi yang dilakukan ternyata mampu meningkatkan nilai transaksi perdagangan antar wilayah dalam bentuk aliran input output. Proporsi transaksi antar wilayah hingga mencapai 38.39%, sedangkan transaksi di dalam wilayah provinsi itu sendiri

adalah sebesar 61.61%. Dengan demikian langkah optimasi yang dilakukan mampu meningkatkan transaksi antar wilayah secara signifikan.

Aliran input output optimal yang nilainya lebih dari rataan (gambar 11) menunjukkan terjadi interaksi yang kuat antara di Jawa dan Sumatera dan sedikit menyebar ke luar Jawa (kawasan tengah dan timur). Namun demikian interaksi aliran input-output optimal masih dominan terjadi di Jawa dan di Sumatera, sehingga diperlukan upaya yang lebih keras untuk mendorong transaksi antar wilayah di luar Jawa terutama di Kawasan Timur Indonesia.



Gambar 11. Aliran Input Output Optimal di atas Rataan Hasil Model

Hasil Permodelan Tahap III

Hasil permodelan tahap III menunjukkan terdapat 7 lokasi optimal yang dapat dijadikan simpul dimana simpul ini akan dapat diproyeksikan menjadi pusat pertumbuhan baru yang mampu mendorong percepatan perkembangan wilayah di luar Jawa. Ketujuh lokasi tersebut adalah **Kota Medan** di Provinsi Sumatera Utara untuk menggerakkan potensi perekonomian wilayah Sumatera bagian barat dan bagian utara. **Kota Batam** di Provinsi Riau untuk menggerakkan potensi perekonomian wilayah pantai timur Sumatera. **Kota Palembang** untuk menggerakkan potensi perekonomian wilayah Sumatera bagian barat dan selatan.

Kota Balikpapan untuk menggerakkan potensi perekonomian di wilayah Kalimantan. **Kota Gorontalo** untuk menggerakkan potensi perekonomian wilayah Sulawesi bagian utara. **Kota Makasar** untuk menggerakkan potensi perekonomian wilayah Sulawesi bagian selatan. Khusus untuk Kota Makasar dan Balikpapan diharapkan juga dapat menjadi alternatif lokasi pusat pertumbuhan bagi wilayah Bali dan Nusa Tenggara. Selanjutnya **Kota Ternate** untuk menggerakkan potensi perekonomian wilayah Provinsi Maluku Utara, Maluku dan Papua. Untuk lebih jelasnya lokasi 7 calon pusat pertumbuhan hasil dari model dapat dilihat pada Gambar 13.

Gambar 13. Lokasi Pusat Pertumbuhan Baru dan *Hinterland* Hasil Model

KESIMPULAN

Sebagai kesimpulan dari penelitian terdapat 3 hasil utama sebagai berikut :

- Berdasarkan hasil permodelan tahap I, adanya kendala real ketersediaan lahan dan pemenuhan kebutuhan demand tiap provinsi, serta adanya kendala sasaran peningkatan kapasitas ekonomi wilayah, kapasitas masyarakat dan kapasitas pemerintah, menyebabkan nilai total output perekonomian optimal yang diperoleh mengalami peningkatan dan terdistribusi secara lebih merata. Untuk dapat mencapai nilai output optimal tersebut diperlukan langkah-

langkah yang terkait dengan penyediaan energi listrik, pasokan input impor, pemberian subsidi dan ketersediaan tenaga kerja.

- Berdasarkan hasil permodelan tahap II, aliran input output optimal yang diperoleh mampu meningkatkan intensitas keterkaitan transaksional antar wilayah. Namun demikian peningkatan transaksi antar wilayah masih terkonsentrasi di Jawa dan sedikit di Sumatra. Karena itu kebutuhan untuk mengembangkan pusat pertumbuhan baru menjadi penting dalam rangka untuk menciptakan pertumbuhan ekonomi yang lebih efisien, pemerataan pembangunan yang berkeadilan, dan menjamin keberlanjutan pembangunan dan lingkungan.
- Berdasarkan hasil permodelan tahap III, diperoleh 7 calon lokasi pusat pertumbuhan baru di luar Jawa. Ketujuh lokasi tersebut adalah Kota Medan, Kota Batam, Kota Palembang, Kota Balikpapan, Kota Gorontalo, Kota Makasar dan Kota Ternate.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pertanahan Nasional Republik Indonesia. 2007. Atlas Neraca Penatagunaan Tanah Nasional. Jakarta.

Badan Pusat Statistik 2006. Potensi Desa 2006. Jakarta.

Badan Pusat Statistik 2008. Potensi Desa 2008. Jakarta.

Badan Pusat Statistik 2009a. Statistik Indonesia 2009. Jakarta.

Badan Pusat Statistik 2009b. Statistik Listrik PLN 2004-2008. Jakarta.

Hill, H., Budy Resosudarmo, Yogi Vidyattama. 2008. *Indonesia's Changing Economic Geography*. CCAS Working Paper No. 12, April 2008. Center for Contemporary Asian Studies Doshiha University. Kyoto

Pribadi, D.O. 2010. Static and Dynamic Decomposition of Interregional Disparity in Indonesia. Makalah dipresentasikan dalam Seminar Internasional IRSA (Indonesia Regional Science Association) ke-10. Surabaya.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. 2001. Atlas Arahan Tata Ruang Pertanian Indonesia. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian. Jakarta

Rustiadi, E, Saefulhakim, S dan Panuju, D.R. 2009. Perencanaan dan Pengembangan Wilayah. Crestpent Press dan Yayasan Obor Indonesia.

ANALISIS PROSES PEMBENTUKAN ALIRAN PERMUKAAN DAN KETERKAITANNYA DENGAN KETERSEDIAAN AIR SECARA SPASIAL DAN TEMPORAL MENDUKUNG PEMENUHAN KEBUTUHAN AIR UNTUK PERTANIAN

(Analysis of Run Off Generation Processes Related to Spatial and Temporal Water Availability for Agricultural Water Demands)

Hidayat Pawitan[1)], Yanuar J. Purwanto[2)], Budi Kartiwa[3)], Nani Heryani[3)], Sawijo[3)]

[1)]Dep. Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan IPA, IPB
[2)]Dep. Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
[3)]Balai Agroklimat dan Hidrologi, Badan Litbang Pertanian

ABSTRAK

Permasalahan lingkungan di Indonesia seperti yang dihadapi di DAS Ciliwung secara garis besar meliputi: meningkatnya banjir dan kekeringan, baik volume maupun frekuensinya; meningkatnya kebutuhan air baku; meningkatnya pencemaran air; dan degradasi lahan dengan menurunnya daya tampung dan dukung lingkungan akibat tekanan penduduk. Penelitian tentang polusi airbumi dan mekanisme imbuhan akifer merupakan bagian aplikasi penting dari analisis kimia air yang masih jarang dilakukan di Indonesia. Di sisi lain analisis hidrokimia berkembang sebagai upaya yang berguna dalam memahami proses biologi, kimia, dan fisik dalam DAS. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengkaji tentang ciri hidrokimia di dalam aliran permukaan dan airbumi; dan (2) menentukan tapak sumber (*sources area*) di dalam DAS melalui kuantifikasi proses hidrokimia selama proses limpasan serta mengkaji keragaman ketersediaan air secara spasial dan temporal. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan telaah beberapa kajian, yaitu: karakterisasi wilayah penelitian meliputi kondisi umum wilayah, karakteristik sumber daya lahan, dan karakteristik hidrologi. Unsur K dan senyawa NO_3 dan HCO_3 dapat dipertimbangkan sebagai perunut konservatif pada DAS mikro Cakardipa. Tapak sumber aliran di dalam mikroDAS Cakardipa yaitu airbumi, limpasan permukaan, dan dam parit masing-masing dengan kontribusi sebesar 66,1%, 28%, dan 5,9%. Namun analisis lanjutan dengan data lebih memadai diperlukan untuk sampai pada hasil yang lebih teruji. MikroDAS Cakardipa mempunyai aliran dasar yang responsif terhadap curah hujan, namun debit dengan model tanki (Q model) hanya mampu mendekati aliran puncak saja. Nilai aliran dasar dari model masih belum mampu memberikan respon kenaikan apabila terjadi curah hujan.

Kata kunci : Proses pembangkitan limpasan, tapak sumber aliran, analisis mixing hidrokimia, separasi hidrograf.

ABSTRACT

Serious environmental issues in Indonesia, especially in the Ciliwung watershed, partly due to increasing population pressure to available land resources, in the forms of floods and droughts, increasing water demands and water pollutions, reduced storage carrying capacity and land degradation. Research on groundwater contamination and mechanisms of aquifer recharge which is important subject in water chemical analysis still rarely conducted in Indonesia. On the other hand, hydrochemical analysis has been developed as tool to understand biological, chemical, and physical processes in the river basin. So, this paper will present study results that aims at: (i) characterizing the hydrochemical properties of surface and groundwater of upper Ciliwung watershed; and (ii) determine

the source areas in the basin through hydrochemical mixing analysis from runoff generation processes and to study spatial and temporal water availability. A micro catchment Cakardipa, upstream part of Ciliwung basin, was selected and instrumented as study area. It was found that K, NO_3 and HCO_3 could be considered as conservative tracers for the study area. Sources areas originated from groundwater, overland flow, and riparian of small dam that contributed to the streamflow 66,1%, 28%, and 5,9%, respectivley. However, further analysis is necessary to confirm the concluding result. The baseflow in the study area was responsive to rainfall, but the output discharge from the tank model only simulate peak flow and fail to simulate base flow from rainfall input. Further study is necessary by developing a conceptual model.

Keywords : Run off generation processes, source area, hydrochemical mixing analyses, hydrograf separation.

PENDAHULUAN

Isu dan permasalahan yang lazim dijumpai dalam pengelolaan DAS mencakup penyediaan air, pencemaran air sungai dan sumber air baku, degradasi lahan (erosi dan sedimentasi), risiko banjir, kekeringan dan tanah longsor, di samping isu proteksi dan konservasi sumber daya alam. Permasalahan yang dihadapi di DAS Ciliwung secara garis besar meliputi: meningkatnya banjir, baik volume maupun frekuensinya; meningkatnya kebutuhan air baku; meningkatnya pencemaran air, dan menurunnya daya tampung dan dukung lingkungan. Selain itu, kawasan Bogor-Puncak-Cianjur (Bopunjur) yang merupakan bagian hulu DAS Ciliwung sebagian besar sudah tidak berfungsi sebagai daerah penyangga akibat meningkatnya pemukiman penduduk, padahal seharusnya kawasan tersebut menjadi penyangga bagi wilayah hilirnya yaitu: Bogor, Depok, Jakarta, sebagai kawasan yang menjamin ketersediaan airbumi dan air permukaan dengan kualitas baik, serta pengendali banjir di daerah hilir. Kondisi sungai Ciliwung saat ini dari hulu ke hilir telah mengalami polusi berat karena limbah rumah tangga dan kebocoran septik tank, kegiatan komersial dan industri, serta pencemaran pestisida dan pupuk dari lahan pertanian. Air sungai yang merupakan salah satu sumber air permukaan, relatif lebih rentan terhadap pencemaran yang diakibatkan oleh kegiatan manusia, dibandingkan airbumi. Penelitian tentang polusi airbumi dan mekanisme imbuhan akifer merupakan bagian aplikasi penting dari analisis kimia air yang masih jarang dilakukan di Indonesia. Di sisi lain analisis hidrokimia merupakan upaya yang berguna dalam memahami proses biologi, kimia, dan fisik dalam DAS.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka proses transfer hujan menjadi aliran permukaan, dari lereng di hulu DAS sampai ke sungai di hilir perlu dipelajari dengan seksama, diantaranya dengan teknik hidrokimia. Metode pemisahan aliran menjadi beberapa komponen hidrograf aliran ada yang bersifat subjektif maupun objektif dan dicoba pada areal dengan fisiografik yang spesifik.

Penelitian hidrokimia tentang muatan bahan kimia di dalam DAS dalam kerangka pengelolaan kualitas air dan program evaluasi hidrokimia telah dilakukan di Krueng Aceh. Evaluasi kualitas air dilaksanakan sumber air di daerah hulu sampai daerah hilir DAS sebagai akibat dampak perubahan penggunaan lahan (*EPA*, 2007). Penelitian lain dilakukan untuk mengetahui tipe aquifer dan hidrokimia airbumi (*groundwater*) serta untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi variasi karakteristik air tanah dan asal usul airbumi payau/asin. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini dipergunakan sebagai dasar penentuan lokasi dan kedalaman sumur untuk pasokan air bersih (Santosa, 2001). Namun penelitian yang mempelajari proses pembangkitan limpasan belum dilakukan. Penelitian tentang sumber daya air di DAS berukuran kecil (mikro DAS) difokuskan dalam kaitannya dengan daur limpasan dan transformasi curah hujan yang melewati kanopi vegetasi, terinfiltrasi ke dalam tanah dan batuan sebagai *groundwater*, dan yang mengalir ke sungai atau danau. Secara ekologi mikro DAS yang berada di daerah hulu suatu DAS sangat sensitif terhadap perubahan ekosistem karena aktivitas manusia, sehingga dapat dipergunakan sebagai sistem peringatan dini (*early warning systems*) perubahan ekosistem. Namun penilaian tentang pengaruh lingkungan terhadap suatu tapak yang sensitif sulit diperoleh apabila tidak ada informasi yang lengkap tentang proses-proses hidrologi, kimia, dan biologi yang kompleks dan saling berkaitan (Christophersen *et al.*. 1994). Aliran bawah permukaan merupakan mekanisme utama limpasan di beberapa DAS dan berperan nyata dalam menginisiasi terjadinya longsor, perubahan kualitas air, dan respon hidrograf pada aliran sungai. Aliran bawah permukaan dapat meningkatkan tekanan pori tanah di lahan yang curam (Uchida *et al.*, 1999). Selain sebagai kontributor penting terhadap volume aliran sungai, Aliran bawah permukaan juga berperan dalam transport hara yang labil ke badan air permukaan (McGlynn dan McDonell, 2003). Karena jalur aliran air di bawah

permukaan sering menentukan kimia air dan kualitas air, maka karakterisasi jalur aliran bawah permukaan penting untuk dipelajari (Burns *et al*., 2003). Oleh karena itu proses aliran bawah permukaan mendapat perhatian utama dan penting dalam hidrologi.

Pemisahan hidrograf dengan menggunakan perunut alami merupakan metode yang dapat dipergunakan untuk memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai proses limpasan. Metode pemisahan aliran permukaan yang akurat merupakan kunci dalam pengendalian transpor kontaminan. Manfaat dari pengambilan contoh air secara kimiawi dan data-data perunut yang dihasilkan dapat membantu kalibrasi model hidrologi. Selain itu data hidrokimia dapat dipergunakan untuk menduga fraksi limpasan yang berasal dari sumber aliran yang berbeda pada waktu yang berbeda, dalam hal ini dapat dicapai dengan *Simple Mixing Analysis* (Dunne *et al*., 2005).

Pada umumnya model hujan dan aliran permukaan menyintesis perilaku hidrologi DAS, meskipun demikian ketepatan hasil sangat bergantung pada teknik dan algoritma yang digunakan dalam memisahkan aliran ke dalam komponen-komponennya. Perbaikan teknik yang tersedia atau pengembangan pendekatan yang lebih tepat dapat membantu para ahli hidrologi untuk mengevaluasi alternatif rencana pengelolaan air secara berkelanjutan. Dalam dekade terakhir beberapa peneliti memfokuskan penelitiannya untuk menganalisis sumber limpasan (*source area*) secara spasial di dalam DAS melalui penggunaan metoda *End Member Mixing Analysis (EMMA),* pemisahan hidrograf berdasarkan perunut, dan analisis hidrometrik (Inamdar dan Mitchell, 2007; Bernal *et al*., 2006; Subagyono *et al.*, 2005; Wenninger *et al*., 2004, McGlynn dan McDonnell, 2003; Burns *et al.*, 2001; dan Hangen *et al.*, 2001). Penelitian-penelitian tersebut telah berhasil menguantifikasi limpasan dari sumber (*source*) yang berbeda dan menunjukkan kontribusi yang berbeda bergantung pada kondisi kelembaban yang ada di dalam DAS (Burns *et al.*, 2001; McGlynn and McDonnell, 2003). Identifikasi sumber limpasan dalam DAS penting karena membantu: a) mengembangkan model pengelolaan DAS; b) mengidentifikasi sumber beberapa polutan; dan c) mengevaluasi dengan lebih baik tentang pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap kualitas air. McGlynn dan McDonnell (2003) mengidentifikasi unit

riparian dan lereng sebagai kontributor utama terhadap aliran di DAS Maimai New Zealand. Kontribusi riparian ternyata cukup besar pada saat kejadian hujan kecil dan pada kondisi awal pada hujan besar, sementara kontribusi lereng terbesar terjadi selama debit puncak pada kejadian hujan yang besar. Hasil penelitian Hangen *et al.,* (2001) di DAS kecil di Black Forest di wilayah Jerman menunjukkan bahwa reservoir di riparian dan lereng merupakan regulator dari aliran. Penelitian ini menyajikan tiga langkah model proses limpasan, yaitu: (i) aliran permukaan; (ii) air tanah dan airbumi dari riparian; dan (iii) interflow di lereng yang semuanya merupakan kontribusi utama aliran di dalam DAS. Bernal *et al.* (2006) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa hidrokimia aliran tidak dapat dijelaskan oleh *end member* selama musim kemarau.

Separasi hidrograf secara geokimia dengan EMMA menggunakan Ca^{2+} dan SiO_2 telah dilakukan di bagian hulu DAS Kawakami, Jepang, untuk menentukan tapak sumber yang berkontribusi pada saat hujan (Subagyono *et al*., 2002). Separasi hidrograf secara geokimia pada kejadian hujan 143,5 mm menunjukkan bahwa air riparian di dekat permukaan, air tanah di hillslope, dan air bumi di riparian dalam, merupakan sumber utama pada saat hujan berturut-turut sebesar 45%, 35%, dan 20% dari total runoff. Daerah riparian dekat permukaan mendominasi baseflow (87%), pada awal hujan sebesar 58%, akhir hujan sebesar 66%, dan setelah hujan sebesar 76%. Daerah ini kurang berkontribusi antara periode puncak dan akhir hujan, dimana saat itu yang terutama berkontribusi adalah air tanah di hillslope. Air bumi di riparian dalam merupakan penyusun utama zone jenuh, dan tidak pernah mendominasi pada saat kejadian hujan meskipun kontribusi meningkat selama puncak hujan 41%, dan pada akhir hujan 32%.

Oleh karena itu diperlukan kajian untuk menentukan metode pemisahan aliran yang akurat melalui teknik perunut hidrokimia yang didukung dengan analisis *Geographical Information Systems (GIS)*. Teknik pemisahan hidrograf untuk mengidentifikasi sumber (*source*) dan menduga laju transpor beberapa polutan telah dikembangkan, dan dengan data hidrokimia dipergunakan untuk menduga fraksi limpasan yang berasal dari berbagai sumber aliran yang berbeda pada waktu yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengkaji tentang

ciri hidrokimia di dalam aliran permukaan dan airbumi; dan (2) menentukan tapak sumber (*sources area*) di dalam DAS melalui kuantifikasi proses hidrokimia selama proses limpasan serta mengkaji keragaman ketersediaan air secara spasial dan temporal. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan telah beberapa kajian, yaitu: karakterisasi wilayah penelitian meliputi kondisi umum wilayah, karakteristik sumber daya lahan, dan karakteristik hidrologi. Tahapan selanjutnya adalah menyusun konsep model hubungan antara proses limpasan dengan keragaman ketersediaan air yang masih akan dilakukan dalam analisis lanjutan pada makalah terpisah.

METODE PENELITIAN

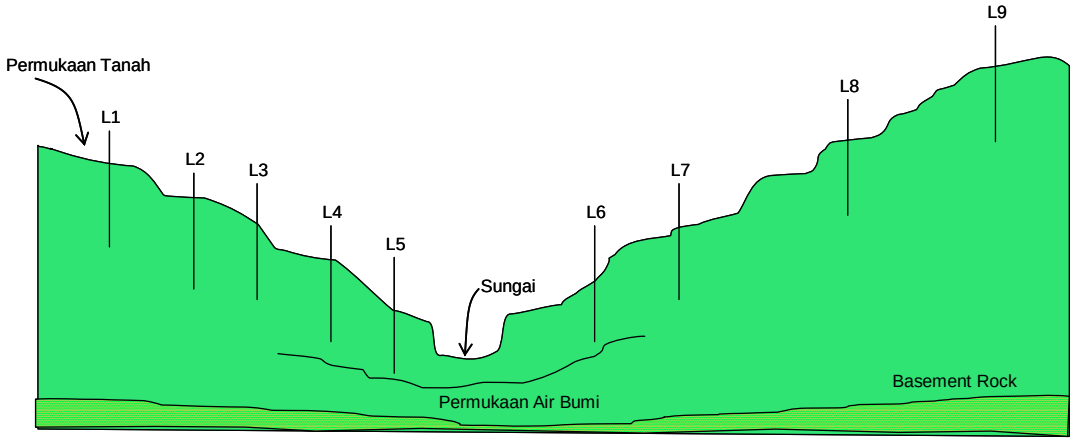
Kegiatan yang dilakukan antara lain pengukuran debit air dari sumber-sumber air yang dijumpai di lapangan yang diduga akan berkontribusi terhadap sumber daya air di lokasi penelitian. Sedangkan berdasarkan data tinggi muka air dari stasiun hidrologi (pengamat duga muka air) di stasiun Cakardipa, subDAS Cisukabirus-Ciliwung Hulu, dilakukan analisis hidrograf debit sesaat untuk menentukan puncak debit, kurva resesi, waktu naik, waktu dasar, serta koefisien runoff dari beberapa episode hujan selama musim hujan.

Pengambilan Sampel Air dan Analisis Hidrokimia: Pengambilan sampel air dari berbagai sumber seperti airbumi; air tanah; air hujan; air sungai di bagian hulu, tengah, dan hilir; air dari saluran untuk analisis hidrokimia dilakukan pada sembilan titik menurut transek di DAS mikro Cakardipa, sub DAS Cisukabirus. Analisis hidrokimia mencakup kation dan anion utama, yaitu: Natrium (Na^+), Kalsium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}), Kalium (K^+), Klorium (Cl^-), Sulfat (SO_4^{2-}), dan Bikarbonat (HCO_3^-). Anion utama ditentukan dengan ion chromatography, sedangkan kation utama dengan atomic absorption spectrophotometry (AAS). Pengambilan sampel air bulanan dilakukan pada bulan Juni 2009 sampai April 2010. Jumlah contoh air dan metode pengambilannya disajikan pada Tabel 1.

Pemasangan alat pengamatan hidrokimia berupa piezometer, tensiometer, dan *suction sampler* dilakukan pada suatu transek yang ditetapkan sesuai dengan jalur aliran air di lahan kering berlereng (*hillslope*) dan lahan basah (*riparian zone*), secara skematik disajikan pada Gambar 1.

Tabel 1. Jumlah sampel air dan metode pengambilannya

No.	Jenis sampel	Metode pengambilan sampel	Jumlah lokasi sampling	Frekuensi
1.	Air tanah	*Suction sampler*	27	Bulanan dan setiap kejadian hujan
2.	Air bumi	Piezometer	16	Bulanan dan setiap kejadian hujan
3.	Air sungai	Manual	4	Bulanan dan setiap kejadian hujan
4.	Aliran permukaan	Chin-Ong meter	4	Setiap kejadian hujan
5.	Air saluran/ dam parit	Manual	1	Bulanan dan setiap kejadian hujan
	Total		52	



Gambar 1. Skema pemasangan Piezometer, tensiometer, dan suction sampler.

Analisis Komponen Runoff berdasarkan Separasi Hidrograf: Kontribusi setiap sumber air selama proses runoff yang diprediksi menggunakan EMMA kemudian dihitung menggunakan metode kesetimbangan massa untuk air dan total unsur (larutan) sesuai dengan formula sebagai berikut (Hinton *et al.*, 1994) :

$$Q_1 = Q_T \frac{(C_T - C_2)(C_3 - C_2) - (C_2 - C_T)(C_2 - C_3)}{(C_1 - C_2)(C_3 - C_2) - (C_2 - C_1)(C_2 - C_3)} \quad \text{.....(1)}$$

$$Q_2 = Q_T \frac{(c_T - c_1)(C_3 - C_1) - (C_1 - C_T)(c_1 - c_3)}{(c_2 - c_1)(C_3 - C_1) - (C_1 - C_2)(c_1 - c_3)} \quad \text{.....(2)}$$

Kemudian, Q_3 dihitung sebagai berikut :

$$Q_3 = Q_T \frac{(c_T - c_2)(C_1 - C_2) - (C_2 - C_T)(c_2 - c_1)}{(c_3 - c_2)(C_1 - C_2) - (C_2 - C_3)(c_2 - c_1)} \quad \text{.....(3)}$$

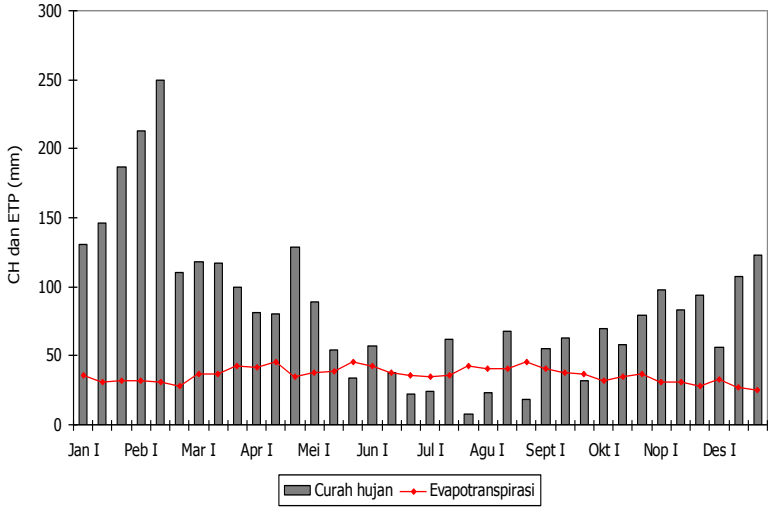
Q adalah *discharge*; c adalah konsentrasi unsur 1 dan C adalah konsentrasi unsur 2; serta 1, 2, 3, dan T berturut-turut adalah aliran masuk ke sungai dari *source area* 1, *source area* 2; *source area* 3, dan T adalah kombinasi total aliran keluar (*total outflow*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa DAS mikro Cakardipa, sub DAS Cisukabirus, DAS Ciliwung Hulu memiliki bentuk topografi wilayah dari agak datar, berombak, sampai berbukit, dan memiliki tanah yang diklasfikasikan kedalam Fluventic Dystrudepts, Fluvaquentic Endoaquepts, Aquic Dystrudepts, Typic Dystrudepts, dan Typic Hapludans.

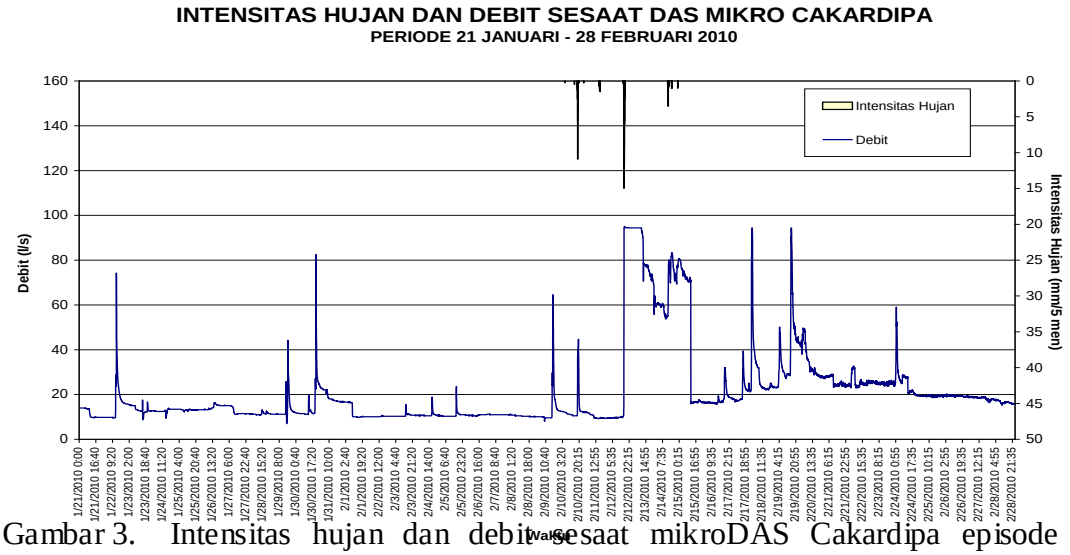
Karakteristik Iklim DAS Mikro Cakardipa: Faktor iklim yang paling berpengaruh terhadap ketersediaan air adalah: curah hujan dan evapotranspirasi. Jumlah curah hujan tahunan di daerah penelitian selama lima tahun (2001-2005), yang diwakili oleh stasiun iklim Citeko, berkisar antara 2735– 3687 mm/tahun dengan rata-rata 3077 mm/tahun. Jumlah bulan kering curah hujan kurang dari 100 mm berkisar antara 2-4 bulan, dan bulan basah dengan curah hujan lebih dari 200 mm berkisar antara 6-8 bulan. Periode di mana curah hujan lebih kecil dari evapotranspirasi potensial berkisar antara 2-4 bulan/tahun. Pada periode ini ada kemungkinan terjadinya kelangkaan atau defisit air bagi tanaman. Gambar 2 menunjukkan bahwa mikroDAS Cakardipa mempunyai penyebaran curah hujan secara temporal yang tidak merata, dengan curah hujan tertinggi jatuh pada bulan Januari dan Pebruari, sedangkan pada bulan Mei sampai dengan September rata-rata curah hujannya lebih rendah dari evapotranspirasi potensial. Pada bulan-bulan

tersebut sebagian petani membiarkan lahannya bera, namun terdapat pula petani yang mengusahakan lahan pertanian dengan irigasi suplemen dari dam parit.



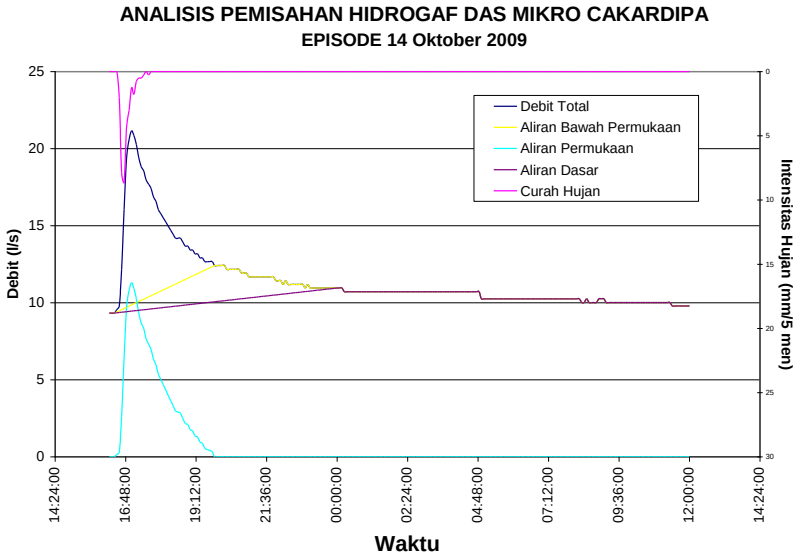
Gambar 2. Distribusi curah hujan dan evapotranspirasi dasarian rata-rata di stasiun pengamat curah hujan Citeko, Megamendung, Bogor.

Karakteristik Hujan dan Aliran DAS Mikro Cakardipa: Hubungan hujan dan aliran mikro DAS Cakardipa disajikan pada Gambar 3. Selama periode Juni – Desember 2009, tercatat delapan episode hujan-limpasan yang cukup nyata, sedangkan selama periode Januari-Februari 2010, tercatat 1 episode aliran permukaan yang potensial untuk digunakan dalam analisis hidrokimia. Hambatan teknis yang terjadi pada instrumentasi perekam data hujan, dan diduga karena pengaruh sedimen yang terendapkan di pintu *weir* yang menyebabkan terjadi penyumbatan sehingga menghambat kecepatan aliran.



Gambar 3. Intensitas hujan dan debit sesaat mikroDAS Cakardipa episode Januari – Februari 2010.

Analisis Pemisahan Hidrograf DAS Mikro Cakardipa: Analisis terhadap sembilan episode hujan-debit mikroDAS Cakardipa menunjukkan beberapa karakteristik hujan-limpasan yang meliputi curah hujan (CH), intensitas hujan maksimum (Imax), debit maksimum (Qmax), koefisien aliran permukaan (Kr), Waktu Naik (Tn) dan Waktu Konsentrasi (Tc). Parameter karakteristik hujan-limpasan dianalisis berdasarkan analisis grafik hietograf dan hidrograf serta analisis pemisahan hidrogaf. Analisis pemisahan hidrograf perlu dilakukan untuk menghitung koefisien aliran permukaan. Salah satu hasil analisis pemisahan hidrograf disajikan pada Gambar 4, sedangkan beberapa karakteristik hietograf dan hidrograf DAS mikroCakardipa disajikan pada Tabel 2.



Gambar 4. Analisis pemisahan hidrograf mikroDAS Cakardipa episode 14 Oktober 2009.

Tabel 2. Karakteristik Hujan dan Debit DAS Mikro Cakardipa untuk sebilan episode selama bulan Oktober 2009 – Pebruari 2010

Episode Hujan - Debit	Curah Hujan (mm)	Intensitas Hujan Maksimum (mm/5menit)	Debit Maksimum (lt/det)	Koefisien Aliran Permukaan (%)	Waktu Naik (Menit)	Waktu Konsentrasi (Menit)
13 Oktober 2009	14,2	3,8	10,7	0,029	35	25
14 Oktober 2009	31,2	8,6	21,2	0,227	35	15
22 Oktober 2009	55,9	8,6	28,3	0,200	30	15
24 Oktober 2009	21,3	4,3	17,7	0,218	35	20

Tabel 2. Karakteristik Hujan dan Debit DAS Mikro Cakardipa untuk sebilan episode selama bulan Oktober 2009 – Pebruari 2010 *(lanjutan)*

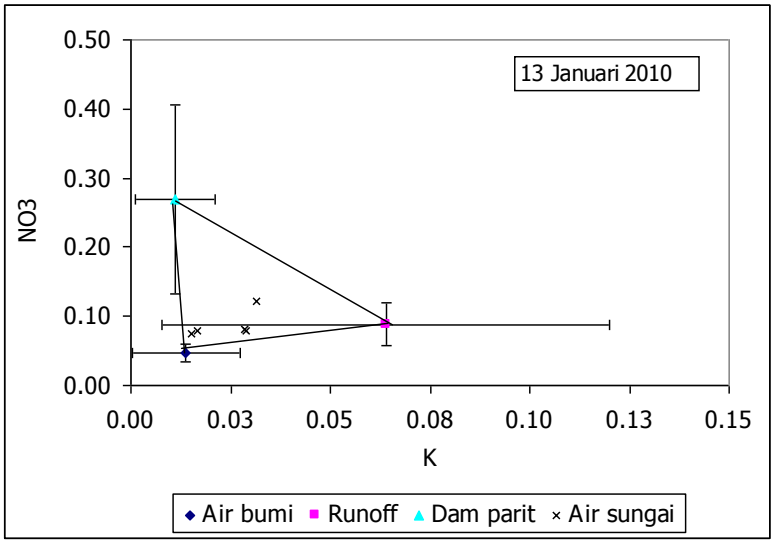
Episode Hujan - Debit	Curah Hujan (mm)	Intensitas Hujan Maksimum (mm/5menit)	Debit Maksimum (lt/det)	Koefisien Aliran Permukaan (%)	Waktu Naik (Menit)	Waktu Konsentrasi (Menit)
27 Oktober 2009	48,3	7,1	22,0	0,210	40	20
31 Oktober 2009	61,5	10,2	58,2	0,387	45	40
11 Nopember 2009	38,1	5,8	16,3	0,184	45	20
17 Nopember 2009	14,5	8,4	21,4	0,591	30	10
10 Februari 2010	30,5	10,9	44,6	0.526	40	10

Berdasarkan curah hujan dan debit yang terekam di outlet mikroDAS Cakardipa, curah hujan maksimum di MikroDAS Cakardipa mencapai 61.5 mm/episode dengan intensitas maksimum sebesar 10.9 mm/5-menit atau setara dengan intensitas hujan 122 mm/jam. Debit puncak mencapai 58,2 lt/det, dengan koefisien aliran permukaan bervariasi antara 0.029 % hingga 0.591%. Waktu konsentrasi bervariasi antara 10 hingga 40 menit.

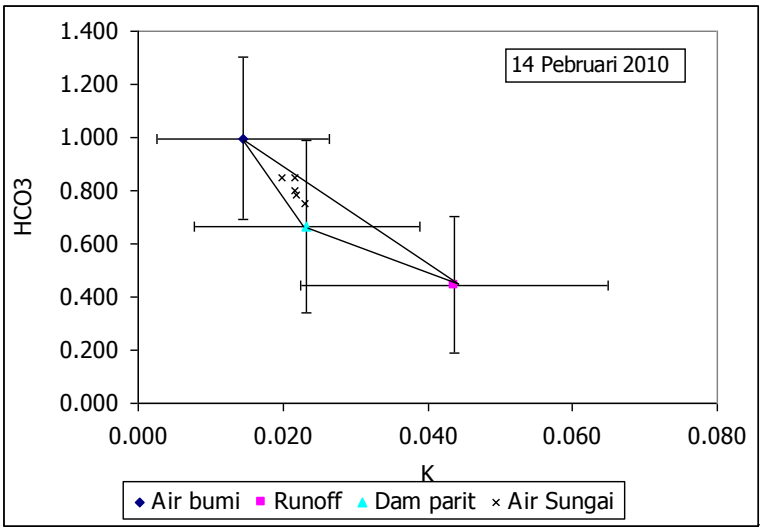
End member mixing analysis (EMMA). Mixing model dapat terdiri dari dua komponen sumber air (*two end member*) dengan satu perunut konservatif, ataupun terdiri tiga komponen sumber air (*three end member*) dengan dua perunut konservatif. Mixing model dari perspektif geometrik memiliki karakteristik seperti berikut: 1) Untuk model dengan dua perunut dan tiga komponen misalnya, mixing antara sub ruang ditentukan oleh dua perunut, 2) Jika diplotkan, tiga komponen puncak dari segitiga dan seluruh contoh aliran harus terikat oleh segitiga, 3) Jika tidak terikat dengan baik, berarti perunut tidak konservatif atau komponen tidak terkarakterisasi dengan baik.

Dari analisis EMMA seperti diilustrasikan pada Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa K, NO_3 dan HCO_3 dapat dipertimbangkan sebagai perunut konservatif pada mikroDAS Cakardipa. Tapak sumber aliran (*source area*) yang utama dari sungai Cakardipa pada sub DAS tersebut adalah airbumi (*groundwater*), aliran permukaan (*runoff*) dan air yang berasal dari dam parit (*riparian*). Dengan mempertimbangkan mixing model K dan NO_3, dari tiga tapak

sumber aliran tersebut, air bumi merupakan sumber aliran sungai Cakardipa yang paling utama, sebagaimana ditunjukkan dengan kemiripan konsentrasi. Sedangkan air yang berasal dari aliran permukaan merupakan sumber aliran terbesar kedua setelah airbumi yang berkontribusi terhadap aliran sungai Cakardipa.



Gambar 5. Hasil analisis mixing antara Kalium (K) dan Nitrat (NO_3) pada episode hujan tanggal 13 Januari 2010.



Gambar 6. Hasil analisis mixing antara Kalium (K) dan HCO_3 pada episode hujan tanggal 14 Februari 2010.

Separasi Hidrograf Secara Geokimia : Separasi hidrograf secara geokimia dilakukan untuk memisahkan komponen runoff pada saat terjadi hujan.

Berdasarkan *end member mixing analyses* seperti tersebut di atas dimana sumber aliran (*source area*) yang utama dari DAS mikro Cakardipa yaitu air bumi (*groundwater*), aliran permukaan (*runoff*), dan air yang berasal dari dam parit, maka kontribusi setiap sumber aliran terhadap aliran sungai dianalisis dari separasi hidrograf menggunakan formula sebagai berikut :

$$Q_{AP}=Q_T \frac{[(c_T-c_{AB})(C_{DP}-C_{AB})-(C_{AB}-C_T)(c_{AB}-c_{DP})]}{[(c_{AP}-c_{AB})(C_{DP}-C_{AB})-(C_{AB}-C_{AP})(c_{AB}-c_{DP})]}$$

$$Q_{AB}=Q_T \frac{[(c_T-c_{AP})(C_{DP}-C_{AP})-(C_{AP}-C_T)(c_{AP}-c_{DP})]}{[(c_{AB}-c_{AP})(C_{DP}-C_{AP})-(C_{AP}-C_{AB})(c_{AP}-c_{DP})]}$$

$$Q_{DP}=Q_T \frac{[(c_T-c_{AB})(C_{AP}-C_{AB})-(C_{AB}-C_T)(c_{AB}-c_{AP})]}{[(c_{DP}-c_{AB})(C_{AP}-C_{AB})-(C_{AB}-C_{DP})(c_{AB}-c_{AP})]}$$

Dalam hal ini :

Q = discharge/debit; c = konsentrasi K^+; C = konsentrasi NO_3; and AP, AB, DP, dan T masing-masing = aliran permukaan, aliran bawah permukaan, aliran dari dam parit, dan aliran total.

Kontribusi setiap sumber aliran terhadap aliran sungai, yang dianalisis dari separasi hidrograf menggunakan formula di atas, menunjukkan bahwa pada episode hujan (*storm event*) tanggal 13 Januari 2010, air bumi merupakan kontributor utama terhadap aliran sungai yaitu mencapai 66,1 %. Selain itu yang berkontribusi yaitu aliran permukaan sebesar 28 % dan aliran dari dam parit sebesar 5,9 %.

Untuk menguantifikasi hubungan antara proses hidrologi dan hidrokimia yang terjadi selama kejadian hujan, diagram C-Q yang pernah didemonstrasikan oleh Evans dan Davies (1998) dan Evans et al. (1999). Konsentrasi unsur hara diplot terhadap debit untuk beberapa unsur hara terpilih (misal Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+,

SiO_2, SO_4^{2-}, dan HCO_3^-). Plot data tersebut dikombinasikan dengan plot data debit observasi secara temporal dan variasi unsur hara. Model histeresis Evans dan Davies digunakan untuk menguji hubungan antara komponen sumber air (model tiga komponen campuran/*the three component mixing model)* yang ditetapkan melalui separasi hidrograf dan sifat kimia airnya, dan histeresis C-Q digunakan untuk menentukan tingkat pencucian unsur hara. Namun karena data hidrokimia yang diperoleh belum memadai, maka analisis model histeresis dan penyusunan konsep model hubungan antara proses limpasan dengan keragaman ketersediaan air secara spasial dan temporal belum dapat diuji-cobakan.

KESIMPULAN

1. DAS mikro Cakardipa- Ciliwung Hulu memiliki bentuk topografi wilayah dari agak datar, berombak, sampai berbukit, dan memiliki tanah yang diklasfikasikan kedalam Fluventic Dystrudepts, Fluvaquentic Endoaquepts, Aquic Dystrudepts, Typic Dystrudepts, dan Typic Hapludans. Curah hujan maksimum yang terekam di DAS Mikro Cakardipa sebesar 61.5 mm dengan intensitas maksimum sebesar 10.9 mm/5-menit atau setara dengan intensitas hujan 122 mm/jam; debit puncak mencapai 58.2 lt/det, dengan koefisien aliran permukaan bervariasi antara 0.029 % hingga 0.591%; dan waktu konsentrasi bervariasi antara 10 hingga 40 menit.
2. Unsur K dan senyawa NO_3 dan HCO_3 dapat dipertimbangkan sebagai perunut konservatif pada DAS mikro Cakardipa. Tapak sumber aliran di dalam mikroDAS Cakardipa yaitu airbumi, limpasan permukaan, dan dam parit masing-masing dengan kontribusi sebesar 66,1 %, 28%, dan 5.9%. Namun analisis lanjutan dengan data lebih memadai diperlukan untuk sampai pada hasil yang lebih teruji.
3. MikroDAS Cakardipa mempunyai aliran dasar yang responsif terhadap curah hujan, namun debit dengan model tanki (Q model) hanya mampu mendekati aliran puncak saja. Nilai aliran dasar dari model masih belum mampu memberikan respon kenaikan apabila terjadi hujan.

DAFTAR PUSTAKA

Bernal, S., A.Butturini, F.Sabater, 2006. Inferring Nitrate Sources Through End Member Mixing Analysis in An Intermittent Mediterranean Stream. Abstract. Biogeochemistry 81, 269–289.

Burns D.A., L.N. Plummer, J.J.McDonnell, E.Busenberg, G.C.Casile, C.Kendall, R.P. Hooper, J.E. Freer, N.E. Peters, K.J. Beven and r P. Schlosse, 2003. *The geochemical evolution of riparian ground water in a forested piedmont catchment*. Ground Water. 41(7): 913–925.

Burns, D.A., , J.J. McDonnell, R.P. Hooper, N.E. Peters, J. Freer, C. Kendall, K.J. Beven, 2001. *Quantifying Contributions to Storm Runoff Through Eend-Member Mixing Analysis and Hydrologic Measurements at the Panola Mountain Research Watershed (Georgia, USA).* Hydrological Processes 15, 1903-1924.

Christophersen, N., T.A Clair, C. T. Driscoll, D. S. Jeffries, C. Neal, dan R. G. Semkin. 1994. *Hydrochemical Studies. In* B. Moldan dan J.Cerny (*eds.*). *Biogeochemistry of Small Catchments*: *A Tool for Environmental Research*. John Wiley & Sons Ltd.

Dunne, S. M., J. R. Bacon, S.I. Vinogradoff, M.C. Graham, dan G. Farmer. 2005. *Investigating the utility of simple hydrochemical sampling data for hydrological model calibration*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 05406, 2005. European Geosciences Union 2005.

EPA. 2007. *Water Quality Monitoring and Hydrochemical Loading Study Banda Aceh, Indonesia*. Environmental Services Program. USAID/Indonesia. *http://www.esp.or.id/ wp-content/uploads/2007/09/r-0193-water-quality-monitoring-and-hydrochemical-loading-study.pdf*

Evans, C., T.D. Davies, dan P.S., Murdoch. 1999. *Component flow processes at four streams in the Catskill Mountains, New York, analysed using episodic concentration/discharge relationships.* Hydrol. Process., 13: 563-575.

Evans, C. and T. D. Davies. 1998. *Causes of concentration/discharge hysteresis and its potential as a tool for analysis of episode hydrochemistry.* Water Resour. Res., 3: 129-137.

Hangen, E., M. Lindenlaub, Ch.Leibundgut, K. von Wilpert. 2001. *Investigating Mechanisms of Stormflow Generation by Natural Tracers and Hydrometric Data: A Small Catchment Study in The Black Forest, Germany*. Abstract. Hydrological Processes 15, 183–199.

Hinton, M. J., S.L. Schiff, dan M. C. English,1994. *Examining the contributions of glacial till water to storm runoff using two and three component hydrograph separation*. Water Resour.Res.30, 983-993.

Inamdar, S.P. dan M. J. Mitchell. 2007. *Contributions of Riparian and Hillslope Waters to Storm Runoff Across Multiple Catchments and Storm Events in*

a Glaciated Forested Watershed. Journal of Hydrology (2007) 341, 116–130.

McDonnell, J.J., 2003. *Where does water go when it rains? Moving beyond variable source area concept of rainfall-runoff response*. Hydrological Processes 17, 1869–1875.

McGlynn, B.L., J.J. McDonnell, 2003. *Quantifying the relative contributions of riparian and hillslope zones to catchment runoff*. Water Resources Research 39 (11), 1310.

Santoso, H. 2006. *Di Indonesia Perlu Ada Kelembagaan Pengelolaan DAS*. 1 September 2006 13:12. *http://www.antara.co.id/print/index.php?id=41228.*

Subagyono, K., T. Tanaka, Y. Hamada, M. Tsujimura, 2005. *Defining Hydrochemical Evolution of Streamflow Through Flowpath Dynamics in Kawakami Headwater Catchment, Central Japan.* Abstract. Hydrological Processes 19 (10), 1939–1965.

Subagyono, K., T. Tanaka, Y. Hamada. 2002. *The importance of near surface riparian on storm runoff generation and stream chemistry in Kawakami forested headwater catchment*. (In English).

Uchida T., K. Kosugi and T. Mizuyama, 1999. *Runoff characteristics of pipeflow and effects of pipeflow on rainfallrunoff phenomena in a mountainous watershed.* Journal of Hydrology. 222(1–4): 18–36.

Wenninger, J., S. Uhlenbrook, N. Tilch, C. Leibundgut, 2004. *Experimental Evidence of Fast Groundwater Responses in a Hillslope/Floodplain Area in the Black Forest Mountains, Germany*. Abstract. Hydrological Processes 18, 3305–3322

PENYUSUNAN PROGRAM REHABILITASI HUTAN RAWA GAMBUT TERDEGRADASI DALAM RANGKA PENURUNAN EMISI GAS RUMAH KACA

(Preparation of Rehabilitation Programs Degradate Peat Swamp Forest in Order of Decreasing Greenhouse Gas Emissions)

Istomo, Sri Wilarso Budi R.
Dep. Silvikultur, Fakultas Kehutanan IPB

ABSTRAK

Hasil penelitian tahun pertama menunjukkan bahwa stek pucuk anakan tumih menghasilkan persen tumbuh lebih dari 80 % sedangkan untuk geronggang agak rendah yaitu 50 %. Untuk jenis tumih pertumbuhan akar dan tunas cukup memuaskan perlakukan hormon penumbuh menghasilkan pengaruh yang signifikan. Pembiakan secara generatif dari biji hasilnya kurang memuaskan. Perkecambahan tumih manghasilkan persen tumbuh sangat rendah (kurang dari 1 %) sedangkan untuk geronggang belum berhasil tumbuh sama sekali. Hasil evaluasi penanaman tanaman WWF di Taman Nasional Sebangau menghasilkan persen tumbuh rendah yaitu 39 % dengan jarak tanam 5 m x 5 m sedangkan hasil penanaman proyek Gerhan oleh Dinas Kehutanan Propinsi Kalimantan Tengah di areal Taman Nasional Sebangau juga menghasilkan persen tumbuh cukup besar yaitu lebih dari 90 % dengan riap tumbuh untuk belangeran 1,86 cm/tahun, jelutung 1,08 cm/tahun. Karet 0,99 cm/tahun dan tumih 1,93 cm/tahun.

Kata Kunci : Stek pucuk, tumih, gerongang, persen tumbuh.

ABSTRACT

The first year results showed that vegetative propagation of tumih and geronggang could be performed satisfactorily. Results of propagation using shoot cutting originated from tumih seedlings showed growth percentage 70-90 80%, while that for geronggang was rather low, namely 40-60%. For tumih species, growth of shoot and root was satisfactory enough. Treatment of growth hormone produced significant effect. Generative propagation using seeds produced less satisfactory results. Germination of tumih seeds produced very low growth percentage (less than 1%) while that of geronggang did not grow at all.
Results of evaluation on WWF planting in Sebangau National Park showed low growth percentage, namely 39% with spacing of 5m x 5 m, while results of planting by project of Land Rehabilitation Movement conducted by Central Kalimantan Provincial Forestry Service Agency showed sufficiently high percentage of growth, namely more than 90%, with growth increment for belangeran 1.86 cm / year, jelutung 1.08 cm / year, rubber 0.99 cm / year and tumih 1.93 cm / year.

Key words : Tumih, geronggang, shoot cutting, growth percentage, growth increment.

PENDAHULUAN

Dalam Konferensi perubahan iklim di Copenhagen baru-baru ini Indonesia telah menyatakan kesanggupannya menurunkan emisi GRK 26-41 %. Mengingat

kontribusi emisi dari hutan rawa gambut termasuk besar maka menurunan emisi GRK dari hutan rawa gambut memberikan dampak sangat nyata terhadap penurunan emisi GRK di Indonesia. Kebijakan yang diambil untuk penurunan tersebut adalah dengan rehabilitasi hutan rawa gambut terdegradasi dengan cara penanaman maupun pengelolaan sistem hidrologi yang diharapkan dapat memberikan kontribusi 31 % terhadap target penurunan emisi tersebut.

Penelitian-penelitian tentang aspek ekologi dan silvikultur telah dimulai oleh penulis bekerjasama dengan pihak-pihak lain baik penelitian aspek pengenalan jenis pohon di hutan rawa gambut, penelitian aspek ekologi, teknik silvikultur, penelitian sistem silvikultur, pola penanaman dan evaluasi keberhasilan penanaman di hutan rawa gambut dan lain-lain. Penelitian-penelitian tersebut masih terpisah-pisah belum dibukukan sebagai panduan yang lengkap untuk pedoman rehabilitasi di hutan rawa gambut. Di samping itu terdapat aspek mendesak yang perlu dilakukan penelitian sehubungan dengan rencana rehabilitasi hutan terdegradasi dalam rangka menurunkan emisi GRK khususnya di areal ex-PLG di Kalimantan Tengah yaitu diketahui bahwa jenis pioner yang mampu tumbuh di lokasi tersebut adalah jenis tumih (*Combretocarpus rotundatus*), geronggang (*Cratoxylon arborencens*) dan balangeran (*Shorea balangeran*). Sehingga untuk tujuan konservasi ketiga jenis tersebut sangat direkomendasikan sebagai jenis terpilih untuk rehabilitasi pada lahan tersebut. Namun teknik perbanyakan tanaman dan budidaya dua jenis yang pertama yaitu tumih dan geronggang belum diketahui oleh karena itu penelitian teknik perbanyakan tanaman baik vegetatif maupun generatif untuk tumih dan geronggang sangat mendesak untuk dilakukan.

Tujuan khusus penelitian pada tahun pertama adalah ini adalah :

a. Kompilasi hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan penulis maupun penelitian pihak lain yang relevan dalam bentuk buku panduan teknik silvikultur rehabilitasi hutan rawa gambut terdegradasi.
b. Penelitian teknik perbanyakan jenis-jenis pohon penting yang tumbuh di lahan gambut terdegradasi yang belum diketahui cara perbanyakanya (vegetatif atau generatif) untuk rehabilitasi skala besar seperti tumih (*Combretocarpus rotundatus*) dan geronggang (*Cratoxylon arborescens*).

c. Evaluasi pola-pola rehabilitasi hutan rawa gambut terdegradasi yang telah dilakukan termasuk evaluasi keberhasilan penanaman pohon yang telah dilakukan.

METODE PENELITIAN

Penelitian direncanakan bekerjasama dengan Bagian Silvikultur Pusat Penelitian Pengembangan Kehutanan dan Konservasi Alam (P3HKA dilakukan di rumah kaca persemaian KOFFCO System,) Bogor, Jawa Barat. Pengambilan bahan stek pucuk dilakukan di Kalimantan Tengah.

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan adalah anakan tumih (*Combretocarpus rotundatus*. Bahan yang digunakan adalah hormon IBA 100 ppm, NAA 100 ppm, hormon IBA dan NAA 50 – 50 ppm. Media yang dipakai adalah serbuk kelapa, sekam padi dan vermikulit.

Sedangkan alat – alat yang digunakan adalah sungkup *pot – tray* sebanyak 15 pasang, alat tulis, kertas label, gelas ukur, penggaris, S*topwatch*, dan gunting cabang.

Rancangan yang Digunakan

Rancangan yang digunakan dalam percobaan ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan sebagai berikut :

1. Hormon IBA dosis 100 ppm (A)
2. Hormon NAA dosis 100 ppm (B)
3. Hormon IBA dosis 50 ppm dan NAA dosis 50 ppm (C)
4. Kontrol (O)

Setiap perlakuan dalam penelitian ini memiliki tiga ulangan, dan didalam masing – masing ulangan berisi 50 batang stek pucuk, sehingga total unit pengamatan adalah 650 batang.

Peubah yang Diamati Dalam Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat tujuh peubah yang diamati yaitu persen hidup stek, jumlah akar, panjang akar, berat basah akar, berat kering akar, berat basah tunas, berat kering tunas.

Data yang diambil kemudian dianalisis menggunakan *Software* Microsoft Excel, SAS Version 6.12 dan Minitab version 13. Untuk menentukan perbedaan antar perlakuan dilakukan uji lanjutan Duncan Gasperz, (1994), Mattjik dan Sumertajaya, (2000).

Urutan Kegiatan Penelitian

Pengambilan data penelitian dilakukan dengan merancang percobaan dengan prosedur sebagai berikut :

a. Pengumpulan dan pemilihan cabang ortotropik anakan tumih.
b. Pengumpulan bahan stek dalam ikatan sejumlah 50 batang tiap ikatnya.
c. Penyiapan media yaitu sekam padi dan serbuk kelapa yang telah melalui proses *steam* (memasak sabut kelapa dengan uap air) dengan perbandingan 1 : 2 sebagai media tabur pada sungkup dengan alas media yaitu Vermikulit.
d. Penyiapan hormon IBA 100 ppm, NAA 100 ppm, IBA 50 ppm – NAA 50 ppm dan air kelapa 100%. Ketiga hormon sintetis tersebut dituang dalam tiga gelas ukur terpisah. Kemudian untuk perendaman dengan air kelapa menggunakan wadah yang besar.
e. Perendaman bahan stek selama 15 menit untuk hormon IBA, NAA dan kombinas IBA dan NAA.. Setiap perlakuan memiliki 150 ulangan yang ditanam di tiga sungkup (masing – masing 50 batang). Kegiatan dilakukan di tempat teduh agar hormon tidak rusak terkena cahaya matahari.
f. Penanaman bahan stek kedalam sungkup sebanyak 50 batang tiap sungkup..
g. Setelah itu tanaman disiram dengan air menggunakan embrat lalu sungkup ditutup untuk menjaga kelembaban media.
h. Perawatan yang dilakukan adalah penyiraman stek menggunakan embrat dan penyiangan terhadap gulma yang tumbuh selama periode pengamatan.

Metode Pengambilan Data

Pengambilan data penelitian dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung mengikuti prosedur berikut :

a. Persen hidup stek : Menghitung jumlah stek yang berakar lalu dibagi dengan jumlah total populasi.
b. Jumlah akar : Mencabut sampel stek yang hidup dan menghitung jumlah akar yang tumbuh.
c. Panjang akar : Mencabut sampel stek yang hidup dan mengukur panjang akar.
d. Berat basah akar : Menimbang sampel akar dalam kondisi segar (basah).
e. Berat kering akar : Mengoven sampel akar dengan suhu > 40 °C selama 24 jam lalu ditimbang untuk mengukur berat kering.
f. Berat basah tunas : Terdapat dua macam stek pucuk yang terdapat dalam penelitian ini, yaitu stek yang bagian tunasnya dipotong dan stek yang bagian tunasnya tidak dipotong. Untuk mengetahui pertumbuhan tunas pada stek yang bagian ujungnya tidak dipotong, pada awal penelitian dilakukan pengukuran tinggi awal stek. Sehingga pada akhir periode penelitian, nilai berat basah tunas dari stek yang bagian tunasnya tidak dipotong adalah dengan menimbang selisih panjang tunas yang tumbuh pada akhir penelitian dikurangi panjang awal tunas dalam kondisi segar (basah).
g. Berat kering tunas : Mengoven sampel tunas dengan suhu > 40 °C selama 24 jam kemudian ditimbang untuk mengukur berat kering.

Metode Pengukuran Pertumbuhan Tanaman

Lokasi untuk evaluasi pertumbuhan tanaman di lahan gambut adalah di Taman Nasional Sebangau. Penanaman dilakukan oleh WWF bekerjasama dengan beberapa mitranya dan penanaman yang dilakukan oleh Dinas Kehutanan Propinsi Jawa Tengah melalui kegiatan Gerhan. Luas penanaman adalah 265 ha.

Untuk mengetahui pertumbuhan tanaman yang ditanam baik persen tumbuh dan kualitas pertumbuhan perlu dibuat petak contoh pengamatan di lokasi penanaman. Petak contoh pengamatan (PCP) berbentuk persegi panjang dengan ukuran 50 m x 50 m (0.25 ha) yang ditempatkan secara acak pada setiap blok penanaman. Jika jumlah tanaman yang ditanam pada setiap ha sebanyak 400

anakan, maka jumlah tanaman yang seharusnya tumbuh pada setiap PCP sebanyak 100 tanaman. Pada setiap blok penanaman dibuat 2-4 PCP.

Pada setiap PCP dilakukan pencatatan nomor tanaman, tanaman hidup dan tanaman mati, jenis tanaman dan tinggi tanaman. Di samping itu untuk mengetahui posisi PCP pada blok tanaman ditentukan posisi PCP dengan menggunakan GPS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Stek Tumih (*Combretocarpus rotundatus*)

1. Persen Hidup Stek

Stek dinyatakan hidup apabila kondisi batang stek masih segar dan telah tumbuh akar pada dasar stek. Hasil pengukuran terhadap rata – rata persen hidup stek tumih dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel 1 diperoleh dari total stek pucuk yang hidup dari ketiga ulangan pada setiap perlakuan.

Tabel 1. Data persen hidup stek pucuk tumih

No.	Perlakuan	Jumlah stek ditanam	Jumlah stek tumbuh	Rata – rata persen tumbuh (%)	SE
1.	A 1	50	39	78	
2.	A 2	50	44	88	
3.	A 3	50	41	82	
	Rata-rata A	50	43	82.67	**0.050**
4.	B 1	50	40	86	
5.	B 2	50	42	80	
6.	B 3	50	40	84	
	Rata-rata B	50	42	83.33	**0.031**
7.	C 1	50	24	80	
8.	C 2	50	45	84	
9.	C 3	50	43	48	
	Rata-rata C	50	48	70.67	**0.197**
10.	D 1	50	39	90	
11.	D 2	50	44	86	
12.	D 3	50	41	96	
	Rata-rata D	50	43	90.67	**0.050**

Dari Tabel 1 diketahui bahwa nilai persen hidup stek bervariasi mulai dari 70.67 % yang dihasilkan oleh perlakuan C (IBA 50 ppm+NAA 50 ppm) dan persen hidup tertinggi dihasilkan oleh perlakuan D (kontrol) sebesar 90,67 %.

Setelah data persen hidup stek dari setiap perlakuan ditransformasi Arc Sin, maka data dapat dianalisis sidik ragamnya. Hasil analisis sidik ragam data persen hidup stek setelah Transformasi Arc sin ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sidik ragam nilai persen stek hidup

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	0.17249	0,057499	2.2983	0,1542
Galat	8	0.20015	0,025017		
Total	11	0.37264			

Dari hasil sidik ragam persen stek hidup pada Tabel 4, diketahui bahwa perlakuan hormon yang diterapkan memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata terhadap persen stek hidup dengan nilai P – value (0,1542) lebih besar dari nilai α (0,05).

2. Jumlah Akar

Pengukuran peubah jumlah akar dilakukan dengan menghitung jumlah akar yang tumbuh pada stek. Setiap stek memiliki variasi jumlah akar yang tumbuh. Untuk menghitung nilai jumlah akar dilakukan dengan cara menghitung jumlah akar yang tumbuh dalam satu ulangan lalu membaginya dengan jumlah stek yang ditanam (50 batang). Tabel 3 menyajikan data total rata – rata jumlah akar dari setiap perlakuan.

Tabel 3. Data rata – rata jumlah akar setiap perlakuan

No.	Perlakuan	Rata – rata Jumlah Akar	SE
1.	A 1	6.3	
2.	A 2	9	
3.	A 3	9	
	Rata-rata A	**8.1**	**4.815**
4.	B 1	3.4	
5.	B 2	5	
6.	B 3	5.4	
	Rata-rata B	**4.6**	**2.275**
7.	C 1	5.6	
8.	C 2	4	

Tabel 3. Data rata – rata jumlah akar setiap perlakuan *(lanjutan)*

No.	Perlakuan	Rata – rata Jumlah Akar	SE
9.	C 3	4.5	
	Rata-rata C	**4.7**	**2.017**
10.	D 1	5	
11.	D 2	5	
12.	D 3	4.4	
	Rata-rata D	4.8	**1.986**

Hasil pengamatan jumlah akar pada stek pucuk tumih pada Tabel 5 menjelaskan bahwa perlakuan B menghasilkan data rata – rata total jumlah akar terbanyak yaitu 9 sementara perlakuan lainnya menghasilkan nilai jumlah akar yang kisarannya merata. Berdasarkan hasil penghitungan stek yang menghasilkan akar, diketahui bahwa batang stek yang berakar berbeda – beda jumlahnya dari setiap ulangan. Tabel 4 menunjukkan hasil analisis sidik ragam. .

Tabel 4. Sidik ragam nilai jumlah akar

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	260.70	86.90	10.13	0,0000
Galat	116	995.00	8.58		
Total	119	1255.70			

Dari hasil analisis sidik ragam pada Tabel 5, diketahui bahwa perlakuan hormon A (IBA 100 ppm), B (NAA 100 ppm), C (IBA 50 ppm – NAA 50 ppm), memberikan pengaruh sangat nyata terhadap nilai rata – rata jumlah akar pada stek yang diamati (Nilai P – value = 0,000 < nilai α = 0,05). Pemberian perlakuan zat pengatur tumbuh (ZPT) A (IBA 100 ppm), B (NAA 100 ppm), C (IBA 50 ppm – NAA 50 ppm), serta Kontrol memberikan efek yang berbeda sangat nyata terhadap jumlah akar tumih.

3. Panjang Akar

Pengukuran peubah panjang akar dilakukan pada setiap akar yang tumbuh pada dasar stek pucuk tumih dengan menggunakan penggaris. Berdasarkan pengukuran panjang akar didapatkan data panjang akar tertinggi yaitu 11.39 cm yang dihasilkan oleh perlakuan B (NAA 100 ppm). Sedangkan perlakuan lainnya menghasilkan data penjang akar yang relatif seragam dengan perlakuan A (IBA

100 ppm) menghasilkan nilai panjang akar terkecil (9.45 cm). Setelah melakukan pengukuran panjang akar yang tumbuh, diketahui bahwa setiap ulangan pada perlakuan menghasilkan jumlah stek berakar yang berbeda – beda.

Hasil analisis sidik ragam peubah panjang akar dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Sidik ragam nilai panjang akar

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	26.70	8.90	1.09	0.355
Galat	116	944.56	8.14		
Total	119	971.25			

Hasil uji sidik ragam terhadap peubah panjang akar yang ditampilkan pada Tabel 5 menghasilkan kesimpulan bahwa perlakuan hormon tidak memberikan pengaruh terhadap rata – rata panjang akar (nilai P – value = 0,355 > α = 0,05).

4. Berat Basah Akar

Data berat basah akar yang digunakan untuk analisis sidik ragam adalah data berat basah akar dalam satu ulangan. Berdasarkan data berat basah akar diketahui bahwa perlakuan A (IBA) menghasilkan data berat basah akar total terbesar yaitu 0,969 gram. Perlakuan C (IBA 50 ppm + NAA 50 ppm) menghasilkan nilai berat basah akar terkecil (0,442 gram). Hasil analisis sidik ragam berat basah akar dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Sidik ragam nilai berat basah akar

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	1,686	0,562	2.52	0,061
Galat	116	25.882	0,223		
Total	119	27.508			

Hasil uji sidik ragam berat basah akar stek pucuk tumih yang dipaparkan pada Tabel 6 menunjukkan bahwa perlakuan A, B, C, tidak memberikan pengaruh nyata terhadap berat basah akar (P – value = 0,061 > α = 0,05).

5. Berat Kering Akar

Berdasarkan data berat kering akar bahwa sebanyak empat perlakuan memberikan hasil yang relatif seragam terhadap rata – rata berat kering akar yaitu 0,090-0.146 gram.. Hasil analisis sidik ragam dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Sidik ragam nilai berat kering akar

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	0,06407	0,02136	3.90	0,011
Galat	116	0,63582	0,00548		
Total	119	0,69988			

Hasil uji sidik ragam terhadap peubah berat kering akar pada Tabel 7 menunjukkan bahwa perlakuan hormon memberikan pengaruh nyata terhadap berat kering akar stek pucuk tumih. (Nilai P – value = 0,011 < α = 0,05).

6. Berat Basah Tunas

Setelah melakukan penimbangan terhadap tunas yang tumbuh pada stek pucuk tumih diperoleh informasi bahwa perlakuan B (NAA 100 ppm) menghasilkan nilai berat basah tunas tertinggi yaitu 0,089 gram. Hasil analisis sidik ragam pada peubah berat basah tunas dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Sidik ragam nilai berat basah tunas

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	0.02707	0,00902	1,95	0,126
Galat	116	0.53808	0,00464		
Total	119	0.56515			

Pada Tabel 8 yang memaparkan hasil uji sidik ragam terhadap berat basah tunas diketahui bahwa perlakuan hormon IBA 100 ppm, NAA 100 ppm, IBA 50 ppm – NAA 50 ppm dan kontrol tidak memberikan pengaruh nyata terhadap berat basah tunas (Nilai P – value = 0,126 > α = 0,05).

7. Berat Kering Tunas

Berdasarkan hasil penimbangan dapat dilihat bahwa nilai rata – rata berat kering tunas memiliki nilai yang relatif seragam dengan nilai berat kering tunas terkecil yaitu 0,002 gram pada perlakuan A. Data berat kering tunas dari masing – masing ulangan yang tercantum pada Tabel 9 adalah data yang digunakan untuk analisis sidik ragam. Hasil analisis sidik ragam berat kering tunas ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Sidik ragam nilai berat kering tunas

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	0,000451	0,000150	0.33	0.807
Galat	116	0,053522	0,000461		
Total	119	0,053973			

Hasil uji sidik ragam terhadap berat kering tunas pada Tabel 9 menunjukkan bahwa perlakuan hormon tidak memberikan pengaruh nyata terhadap berat kering tunas (P – value = 0,807 > α = 0,05).

Berdasarkan hasil-hasil pengukuran dan analisis data menunjukkan bahwa tumih mempunyai persen tumbuh yang tinggi yaitu antara 70 – 90 %. Sedangkan hasil analisis sidik ragam bahwa perlakuan hormon IBA dan NAA tidak perpengaruh nyata terhadap persen tumbuh. Hal tersebut menunjukkan bahwa perbanyakan tumih melalui stek pucuk memberikan persen tumbuh yang tumbuh yang tinggi walaupun tanpa hormon penumbuh. Hal tersebut dibuktikan bahwa kontrol tanpa perlakuan hormon justru memberikan persen tumbuh yang tinggi yaitu 90 %.

Perlakuan hormon A (NAA 100 ppm), B (IBA 100 ppm) dan C (IBA 50 ppm dan NAA 50 ppm) memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah akar dan berat kering akar. Hal tersebut menunjukkan bahwa walaupun persen tumbuh anakan stek tumih tidak dipengaruhi oleh perlakuan hormon penumbuh namun untuk jumlah akar dan berat kering akar dipengaruhi oleh perlakuan hormon penumbuh.

B. Hasil Stek Pucuk Geronggang (*Cratoxylon arborescens*)

1. Persen Hidup Stek

Hasil pengukuran terhadap rata – rata persen hidup stek pucuk geronggang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Data persen hidup stek pucuk geronggang

No.	Perlakuan	Jumlah stek ditanam	Jumlah stek tumbuh	Rata – rata persen tumbuh (%)	SE
1.	A 1	50	19	38	
2.	A 2	50	23	46	
3.	A 3	50	28	56	
	Rata-rata A	**50**	**36**	**46.67**	**0.090**

Tabel 10. Data persen hidup stek pucuk geronggang *(lanjutan)*

No.	Perlakuan	Jumlah stek ditanam	Jumlah stek tumbuh	Rata – rata persen tumbuh (%)	SE
4.	B 1	50	28	72	
5.	B 2	50	27	56	
6.	B 3	50	23	54	
	Rata-rata B	**50**	**20**	**60.67**	**0.099**
7.	C 1	50	22	46	
8.	C 2	50	20	40	
9.	C 3	50	22	44	
	Rata-rata C	**50**	**24**	**43.33**	**0.031**
10.	D 1	50	19	40	
11.	D 2	50	23	44	
12.	D 3	50	28	48	
	Rata-rata D	**50**	**36**	**44.00**	**0.040**

Dari Tabel 10 diketahui bahwa nilai persen hidup stek bervariasi mulai dari 43.33 % yang dihasilkan oleh perlakuan C (IBA 50 ppm + NAA 50 ppm) dan persen hidup tertinggi dihasilkan oleh perlakuan B (hormon NAA 100 ppm) sebesar 60.67 %. Menurut Mattjik dan Sumertajaya (2000), bahwa data yang berasal dari data proporsi atau data persentase yang diturunkan dari nisbah jumlah data tidak dapat langsung digunakan dalam analisis sidik ragam. Data tersebut harus ditransformasikan terlebih dahulu melalui Transformasi Arc Sin agar dapat dianalisis sidik ragamnya. Untuk mentransformasi data menggunakan Transformasi Arc Sin menggunakan *Software* Minitab 13.

Setelah data persen hidup stek dari setiap perlakuan ditransformasi Arc Sin, maka data dapat dianalisis sidik ragamnya. Hasil analisis sidik ragam data persen hidup stek setelah Transformasi Arc sin ditampilkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Sidik ragam nilai persen stek hidup (Transformasi Arc Sin)

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	0.08257	0.02752	3.72	0.061
Galat	8	0.05920	0.00740		
Total	11	0.14177			

Dari hasil sidik ragam persen stek hidup pada Tabel 11, diketahui bahwa perlakuan hormon yang diterapkan memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada taraf 90 % terhadap persen stek hidup dengan nilai P – value (0,27) lebih besar dari nilai α (0,10).

2. Jumlah Akar

Hasil analisis sidik ragam nilai jumlah akar disampaikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Sidik ragam nilai jumlah akar.

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	18.4	6.1	0.17	0.917
Galat	32	1165.8	26.4		
Total	32	1184.2			

Dari hasil analisis sidik ragam pada Tabel 12, diketahui bahwa perlakuan hormon A (IBA 100 ppm), B (NAA 100 ppm), C (IBA 50 ppm – NAA 50 ppm), tidak berpengaruh terhadap nilai rata – rata jumlah akar pada stek yang diamati (Nilai P – value = 0.917 > nilai $\alpha = 0,05$).

3. Panjang Akar

Hasil analisis sidik ragam peubah panjang akar dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13 Sidik ragam nilai panjang akar.

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	39.02	13.01	2.12	0.117
Galat	32	195.87	6.12		
Total	32	234.89			

Hasil uji sidik ragam terhadap peubah panjang akar yang ditampilkan pada Tabel 10 menghasilkan kesimpulan bahwa perlakuan hormon tidak memberikan pengaruh terhadap rata – rata panjang akar (nilai P – value = 0,117 > $\alpha = 0,05$).

4. Berat Basah Akar

Hasil analisis sidik ragam berat basah akar dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14 Sidik ragam nilai berat basah akar

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	0.1390	0.0463	1.03	0.393
Galat	32	1.4419	0.0451		
Total	32	1.5809			

Hasil uji sidik ragam berat basah akar stek pucuk tumih yang dipaparkan pada Tabel 14. menunjukkan bahwa perlakuan A, B, C, tidak memberikan pengaruh nyata terhadap berat basah akar (P – value = 0,0393 > $\alpha = 0,05$).

5. Berat Kering Akar

Hasil analisis sidik ragam dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15 Sidik ragam nilai berat kering akar

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	0,00526	0,00175	1.66	0.195
Galat	32	0,03375	0,00105		
Total	35	0,03901			

Hasil uji sidik ragam terhadap peubah berat kering akar pada Tabel 25 menunjukkan bahwa perlakuan hormon tidak memberikan pengaruh nyata terhadap berat kering akar stek pucuk tumih. (Nilai P – value = 0.195 > α = 0,05).

6. Berat Basah Tunas

Hasil analisis sidik ragam pada peubah berat basah tunas dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Sidik ragam nilai berat basah tunas.

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	0.00128	0.00043	0.07	0.975
Galat	32	0.18953	0.00592		
Total	32	0.19081			

Dari Tabel 16 yang memaparkan hasil uji sidik ragam terhadap berat basah tunas diketahui bahwa perlakuan hormon IBA 100 ppm, NAA 100 ppm, IBA 50 ppm – NAA 50 ppm dan perlakuan kontrol tidak memberikan pengaruh nyata terhadap berat basah tunas (Nilai P – value = 0,975 > α = 0,05).

7. Berat Kering Tunas

Hasil analisis sidik ragam berat kering tunas ditampilkan pada Tabel 17.

Tabel 17 Sidik ragam nilai berat kering tunas

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	P – value
Perlakuan	3	0.000337	0.000112	0.18	0.906
Galat	32	0.019472	0.000608		
Total	32	0.019809			

Hasil uji sidik ragam terhadap berat kering tunas pada Tabel 17 menunjukkan bahwa perlakuan hormon tidak memberikan pengaruh nyata terhadap berat kering tunas (P – value = 0,906 > α = 0,05).

C. Hasil Evaluasi Penanaman di Hutan Rawa Gambut Terdegradasi.

Persen tumbuh tanaman berdasarkan hasil pengukuran pada setiap PCP dapat dilihat pada Tabel 18. Pada Tabel 18 diperlihatkan rata-rata persen tumbuh untuk setiap Blok penanaman. Untuk penanaman di Sebangau Hulu yaitu Blok penanaman 1 sampai 10 menunjukkan bahwa persen tumbuh yang paling rendah pada Blok IX yaitu sebesar 9 %, sedangkan blok penanaman yang mempunyai persen tumbuh terbesar yaitu pada Blok I sebesar 81% diikuti Blok IV sebesar 67,3% dan Blok II sebesar 55%.

Tabel 18. Persen tumbuh tanaman pada setiap Blok tanaman.

No.	Blok Penanaman	Persen Tumbuh
1	I	81.0%
2	II	55.0%
3	III	39.0%
4	IV	67.3%
5	V	39.3%
6	VI	35.0%
7	VII	36.7%
8	VIII	22.7%
9	IX	9.0%
10	X	51.5%
11	Nokia	42.0%
12	SPJ	33.0%
13	NBT	24.0%
14	Cocacola	25.0%
	Rata-rata	**39.61%**

Pada lokasi penanaman di Sebangau Hilir (SSI) menunjukan bahwa untuk semua blok penanaman, persen tumbuh tanaman dibawah 50%. Terbesar pada Blok penanaman Nokia yaitu 42%, diikuti Blok penanaman SPJ, Coca-cola dan NBT .

Rendahnya persen tumbuh tanaman di lokasi kajian diduga disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain tinggi dan lamanya genangan air serta persaingan dengan gulma. Pada saat pengukuran dilakukan curah hujan di lokasi kajian masih

cukup tinggi. Seperti diketahui bahwa pada tahun 2010 ini curah hujan tergolong tinggi dan terus-menerus dan dapat dikatakan tanpa musim kemarau, sehingga genangan air di lokasi kajian tergolong tinggi. Faktor genangan tersebut yang menyebabkan tanaman sebagian mati terendam air terus-menerus. Tanaman yang masih kecil dan tergenang total dan terus banyak yang mati, hanya tanaman tinggi yang tidak tergenang yang masih bertahan hidup. Berdasarkan hasil pengamatan genangan air tertinggi yang hampir mencapai 1 meter terutama terdapat pada Blok IX, dimana pada blok ini menunjukan persen tumbuh tanaman sangat rendah. Demikian pula pada blok VIII, V, VI dan VII genangan relatif tinggi. Pada blok I, II dan IV persen tumbuh relatif tinggi diduga karena genangan air relatif dangkal. Disamping faktor waktu penanaman juga berpengaruh terghadap persen tumbuh. Tanaman yang ditanam lebih awal yaitu pada bulan April 2008 mempunyai persen tumbuh lebih tinggi seperti terdapat paba Blok IV, sementara blok yang lain dilakukan pada bulan September atau bulan Oktober 2008.

Evaluasi penanaman di lahan gambut dilakukan pula di areal tanaman Gerhan oleh Dinas Kehutanan, Kalimantan Tengah, di Taman Nasional Sebangau tahun 2005. Jika jarak tanam tanaman WWF dengan mitranya 5 m x 5 m, namun jarak tanam penanaman oleh Dinas Kehutanan Propinsi Kalimantan Tengah ini adalah 3 x 3 m, jadi jumlah tanamn per ha sebanyak 990 tanaman. Jenis pohon yang ditanam adalah belangeran, jelutung dengan tanaman sela yang ditanam diantara jalur tanaman adalah karet sedangkan jenis tanaman alami yang tidak ditanam namun ikut tumbuh adalah jenis tumih. Hasil evaluasi pertumbuhan tanaman Gerhan pada areal seluas 0.25 ha dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19. Hasil evaluasi tanaman proyek Gerhan oleh Dinas Kehutanan Propinsi Kalimantan Tengah seluas 0,25 ha di TN Sebangau umur 5 tahun

No.	Jenis	Jumlah	Diameter rata2	Riap diameter (cm/tahun)	Keterangan
1	belangeran	179	9.3	1.86	Tanaman pokok
2	jelutung	46	5.39	1.08	Tanaman pokok
3	karet	20	4.94	0.99	Tanaman sela
4	tumih	8	9.67	1.93	Tumbuh alami
	Total	253			

Pada Tabel 19 dapat dilihat bahwa jumlah tanaman pokok pada areal seluas 0,25 ha sebanyak 225 pohon atau sekitar 900 pohon per ha. Sedangkan tanaman lain sebanyak 28 pohon yaitu jenis karet dan tumih atau 112 pohon ha. Dengan demikian persen tumbuh tanaman pokok pada proyek Gerhan tersebut mencapai 90 % lebih.

Pada Tabel 19 dapat dilihat riap pertumbuhan diameter tanaman Gerhan terbesar untuk jenis tumih, menyusul belangeran dan jelutung sedangkan riap diameter terendah adalah jenis karet. Riap diameter untuk jenis tumih adalah 1.93 cm/tahun sedangkan belangeran sebesar 1.86 cm/tahun.

Berdasarkan uraian di atas menunjukkan bahwa tanaman proyek Gerhan oleh Dinas Kehutanan Kalimantan Tengah mempunyai pertumbuhan yang lebih baik terutama mencakup persen tumbuh maupun riap diameter. Jenis belangeran dan tumih mempunyai riap pertumbuhan yang paling tinggi untuk ditanam di hutan rawa gambut.

KESIMPULAN

1. Perbanyakan anakan tumih melalui stek pucuk menghasilkan persen tumbuh antara 70 – 90 %. Persen tumbuh terbesar justru terdapat pada kontrol dan terendah pada perlakuan IBA 50 ppm + NAA 50 ppm. Jadi perbanyakan tumih melalui stek pucuk memberikan persen tumbuh yang tinggi walaupun tanpa hormon penumbuh.
2. Perlakuan hormon NAA 100 ppm, IBA 100 ppm dan IBA 50 ppm+NAA 50 ppm memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah akar dan berat kering akar.
3. Perbanyakan anakan geronggang melalui stek pucuk menghasilkan persen tumbuh 40,00 – 60,67 %. Persen tumbuh terbesar terdapat pada perlakuan NAA 100 ppm dan terendah pada kontrol.
4. Hasil analisis sidik ragam perlakuan IBA 100 ppm, NAA 100 ppm dan IBA 50 ppm + NAA 50 ppm memberikan pengaruh nyata pada persen tumbuh stek geronggang.
5. Hasil analisis sidik ragam perlakuan hormon IBA dan NAA tidak perpengaruh nyata terhadap jumlah akar, panjang akar, berat basah akar. berat kering akar, berat basah tunas dan berat kering tunas.

6. Tanaman pohon yang ditanam oleh WWF di Sebangau Hulu dan Sebangau Hilir dengan luas total 165 ha dengan jarak tanam 5 m x 5 m mempunyai persen tumbuh yang tergolong rendah yaitu 39,61 %. Rendahnya persen tumbuh tanaman disebabkan oleh genangan air dan persaingan dengan gulma. Sedangkan tanaman yang ditanam oleh Dinas Kehutanan Kalimantan Tengah seluas 400 ha dengan jarak tanam 3 m x 3 m menghasilkan persen tumbuh lebih dari 90 %.

DAFTAR PUSTAKA

BAPPENAS. 2009. Reducing carbon emissions from Indonesia's peatlands. Interim Report of a Multi-Diciplinary Study. 11 December 2009.

Daryono, H. 1996. Kondisi tegakan tinggal dan permudaan alam hutan rawa gambut setelah pembalakan dan teknik propagasinya. Dalam Prosiding Diskusi Hasil-Hasil Penelitian dalam Menunjang Pemanfaatan Hutan yang Lestari, Cisarua. Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam : 9 - 31.

Deman, W.L. 1998. Pengaruh campuran media tumbuh dan rootone F terhadap pertumbuhan anakan ramin *(Gonystylus bancanus Kurtz).* Thesis S1' Fakultas Pertanian Jurusan Kehutanan. Univ. Palangkaraya.

Hendromono. 1999. Pengaruh manipulasi kondisi lingkungan terhadap prosen berakar stek ramin *(Gonystylus bancanus) (The effects of environmental condition manipulation on the rooting percentage of ramin* (Gonystylus bancanus) cuttings). *Buletin Penelitian Hutan: 1* - 12.

Herman dan Istomo. 1997. Studi Pembiakan Stek Batang Anakan Ramin *(Gonystylus bancanus)* dengan Menggunakan Zat Pengatur Tumbuh Rootone-F pada Berbagai Media Perakaran. Jur. Manajemen Hutan Tropika. Vol IV No 1-2.

Istomo, Budi dan Hermansyah. 2002. Program perbanyakaan bibit ramin *(Gonystylus bancanus* (Miq) Kurz) melalui stek batang anakan alam. Kerjasama antara Fahutan IPB dengan PT. DRT.

Istomo, Murniati, T Rostiwati and Hendromono. 2005. Review and current status of ramin plantation activities. Technical Report No. 3. ITTO PPD 87/03 Rev, 2 (F). Identification of *Gonystylus spp* (Ramin), Potency, Distribution, Conservation and Plantation Barrier. Forestry Reseacrh and Development Agency, Ministry of Forestry.

Istomo. 1994. Hubungan antara komposisi, struktur dan penyebaran ramin (*Gonystylus bancanus*) dengan sifat-sifat tanah gambut (Studi kasus di areal HPH PT Inhutani III Kalimantan Tengah). Tesis Program pascasarjana IPB. Bogor.

Istomo. 2002. Pengenalan Jenis Tumbuhan di Hutan Rawa Gambut. Yayasan Penerbit Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.

Istomo. 2006. Kandungan Fosfor dan Kalsium serta Penyebarannya pada Tanah dan Tumbuhan Hutan Rawa Gambut. Jurnal Manajemen Hutan Tropika Vol. XII No.3 :88-55.

Istomo, S. Rahayu and ITC Wibisono. 2009. Report On Land Cover Assessment (Including Information On The Current Status Of Forest, Ground Cover, Rehabilitation And Canal Blocking In Block A North EMRP). The Kalimantan Forests and Climate Partnership-Australia Indonesia Partnership.

MODEL PENGEMBANGAN LAHAN RAWA LEBAK BERBASIS SUMBERDAYA LOKAL UNTUK PENINGKATAN PRODUKTIVITAS LAHAN DAN PENDAPATAN PETANI (Studi Kasus Di Kecamatan Sungai Raya dan Sungai Ambawang, Kabupaten Kubu Raya - Kalimantan Barat)

(Local Resources-Based Swamp Land Development Model to Increase Land Productivity and Farmer Income)

Rois[1)], Supiandi Sabiham[2)], Irsal Las[3)], Machfud[4)]

[1)]Mahasiswa S3 Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan SPs_IPB

[2)]Dep. Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB

[3)]Staf Peneliti Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Bogor

[4)]Dep. Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB

ABSTRAK

Pemanfaatan lahan rawa lebak masih terbatas dan hanya bersifat untuk menopang kehidupan sehari-hari dan masih tertinggal jika dibandingkan dengan *agroekosistem* lain, seperti lahan kering atau lahan irigasi. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Nazemi *et al*., (2006) menemukan beberapa faktor penyebab lainnya sehingga pengusahaan lahan rawa lebak belum memberikan hasil yang maksimal diantaranya 1) adanya persepsi dari petani yang keliru bahwa usahatani yang dijalani sekarang telah menghasilkan pendapatan yang tinggi, 2) kurangnya modal, 3) akses teknologi yang rendah, 4) sifat subsisten petani dan 5) berusahatani karena kebiasaan. Tujuan penelitian ini adalah merumuskan model pengembangan lahan rawa lebak berbasis sumberdaya lokal untuk peningkatan produktivitas lahan dan pendapatan petani. Penelitian dilaksanakan di Desa Sungai Ambangah Kecamatan Sungai Raya, dan Desa Pasak Piang Kecamatan Sungai Ambawang, Kabupaten Kubu Raya Provinsi Kalimantan Barat. Hasil analisis usahatani masing-masing tanaman yang diusahakan baik di desa Sungai Ambangah maupun Pasak Piang berturut turut adalah sebagai berikut: [1] tanaman padi nilai R/C ratio 3,30 dan 4.8; [2] tanaman karet nilai B/C ratio 1,03 dan 22,49, dan nilai NPV adalah Rp 18 276 218,10 dan Rp 29 505 242,42; dan [3] tanaman kelapa sawit diperoleh nilai B/C ratio, NPV, dan IRR untuk kedua desa berturut-turut adalah 0,31, Rp 17 664 067,22 dan IRR 30,10%. %. Hasil analisis tersebut, apabila dihubungkan dengan nilai Kebutuhan Hidup Layak (KHL) dan Luas lahan minimal (Lm) yang harus dipenuhi, maka petani di desa Sungai Ambangah hanya dapat memenuhi sebesar 29,92 persen KHL dan memerlukan luas lahan minimal (Lm) sekitar 7,15 hektar. Sedangkan untuk petani di desa Pasak Piang dapat memenuhi sebesar 35,70 persen KHL dan memerlukan luas lahan minimal (Lm) sekitar 6,58 hektar. Selanjutnya, status keberlanjutan untuk lima dimensi keberlanjutan pada kondisi eksisting di desa Sungai Ambangah diperoleh nilai indeks sebesar 55,15 persen atau pada kategori cukup berkelanjutan untuk dimensi kelembagaan, sedangkan empat dimensi lainnya diperoleh nilai kurang dari 50,00 persen atau dikategorikan kurang berkelanjutan. Untuk desa Pasak Piang diperoleh nilai indeks sebesar 51,41 persen atau pada kategori cukup berkelanjutan juga untuk dimensi kelembagaan, sedangkan empat dimensi lainnya diperoleh nilai kurang dari 50,00 persen atau dikategorikan kurang berkelanjutan. Dari tiga skenario yang disusun sebagai alternatif pilihan dalam penerapan pengelolaan lahan rawa lebak berkelanjutan, dengan mempertimbangkan ketersediaan sumberdaya lokal di lokasi penelitian, maka skenario yang direkomendasikan dari penelitian ini adalah skenario III baik di Desa Sungai Ambangah maupun Desa Pasak Piang dengan berbagai faktor yang perlu mendapatkan perhatian dan perbaikan. Faktor-

faktor tersebut adalah (1) pertanian terpadu, (2) penggunaan bahan organik, (3) penggunaan pestisida organik, (4) ketersediaan modal usahatani, (5) keberadaan lembaga keuangan mikro, (6) petani dan kelompok tani, (7) transfer informasi antar kelompok tani, (8) dukungan lembaga penelitian dan perguruan tinggi, (9) pengelolaan pasca panen dan pemasaran hasil.

Kata kunci : Lahan rawa lebak, sumberdaya lokal, pendapatan petani.

ABSTRACT

The exploitation of swamp land is sill left behind compared to the cultivation of dry land or irrigated land. The research by Nazemi at al. (2006) found that there were some factors that make the exploitation of swamp area far from expectation and its yields not maximum, for example 1) the wrong perception of farmers that the farming they are doing now has given high income, 2) a lack of capital, 3) low technological access, 4) characteristics of farmer's subsistence, 5) tradition-based farming, and 6) plant intensity. This study was aimed to formulate a resources-based swamp land development model to increase land productivity and farmer Income. This research was conducted in the Sub-District of Sungai Ambangah in the District of Sungai Raya, and the Sub-District of Pasak Piang in the District of Sungai Ambawang, in the Regency of Kubu Raya, West Kalimantan Province. The analysis of each crop cultivated in both Sungai Ambangah and Pasak Piang gave the following results respectively for both areas; (1) rice with the R/C ratio of 3.30 and 4.80; (2) rubber with B/C ratio of 1.03 and 22.49 and the NPV values of Rp 18 276 218,10 and Rp 29 505 242,42; and (3) palm with the B/C ratio of 0.31, NPV of Rp 17 664 067,22, and IRR of 30.10% for both regions. These results, if linked to the value of Appropriate Living Needs (ALN) and the minimum land area (ML) that must be fulfilled, indicate that the farmers in Sungai Ambangah could reach only 29.92% of ALN and require a minimum land of about 7.15 hectares; whereas the farmers of Pasak Piang could meet 35.70% of ALN and need a minimum land of approximately 6.58 hectares. Further, the sustainability status for the five dimensions in the existing condition of Sungai Ambangah obtained the index value of 55.15% or the category of sustainable enough for the institutional dimension, while the other four dimensions got the value of less than 50,00%, or categorized as less sustainable. As for the village of Pasak Piang, it got the index value of 51.41% or the category of sustainable enough also for the institutional dimension, whereas the other four dimensions obtained the value of less than 50,00% or considered less sustainable. With the three scenarios as the alternative options in the formulation of models of sustainable swamp land management, and considering the available local resources in the research site, such as costs and benefits, welfare and stability of socio-cultural conditions of local farmers and sustainability of the swamp land ecology, therefore the recommended scenario from this study is Scenario III in both Sub-districts of Ambangah and Pasak Piang with some factors needing improvement and attention, namely (1) integrated agriculture, (2) use of organic matter, (3) use of organic pesticide, (4) the availability of farm capital, (5) the existence of micro finance institutions, (6) active role of agricultural extension agencies, (7) information transfer among farmer groups, (8) support of research institutions and PT, and (9) post-harvest management and marketing of yields.

Keywords : Swamp land, local resources, farmer income.

PENDAHULUAN

Rawa lebak umumnya merupakan daerah yang terdapat di kiri dan kanan sungai besar dan anak sungai, dengan topografi datar, tergenang air pada musim penghujan, dan kering pada musim kemarau. Genangan air merupakan watak bawaan (*inherence*) dan sebagai ciri *hidro-ekologi* rawa sehingga dapat menjadi unsur pembeda utama, antara satu daerah dengan lainnya sekalipun dalam satu kawasan (Noor, 2007). Di beberapa tempat selain untuk kegiatan pertanian, rawa lebak juga memiliki kontribusi penting bagi masyarakat sekitar untuk kegiatan perikanan, transportasi, dan kesempatan kerja (Sulistiyarto, 2008).

Dari total lahan rawa lebak yang telah diusahakan untuk pertanian, hampir 91 persen diusahakan untuk usahatani padi dengan pola tanam satu kali dalam setahun, yang diusahakan dua kali padi setahun baru sekitar 9 persen (Sudana, 2005). Selain itu, rawa lebak juga diusahakan tanaman pangan dan palawija (Waluyo, 2000). Namun demikian, selain pemanfaatan rawa lebak yang masih terbatas dan hanya bersifat untuk menopang kehidupan sehari-hari, produktivitas yang dihasilkan juga masih rendah dan masih tertinggal jika dibandingkan dengan *agroekosistem* lain, seperti lahan kering atau lahan irigasi (Noor, 2007). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Nazemi *et al.,* (2006) menemukan beberapa faktor penyebab sehingga pengusahaan lahan rawa lebak belum memberikan hasil yang maksimal diantaranya 1) adanya persepsi dari petani yang keliru bahwa usahatani yang dijalani sekarang telah menghasilkan pendapatan yang tinggi, 2) kurangnya modal, 3) akses teknologi yang rendah, 4) sifat subsistem petani dan 5) berusahatani karena kebiasaan.

Disisi lain, beberapa faktor yang mendukung dalam pengembangan usahatani seperti padi, terung, labu/waluh di lahan rawa lebak menunjukkan tingkat keuntungan yang cukup baik yang dinyatakan dengan R/C >1 atau layak diusahakan, kontribusi usahatani terhadap pendapatan cukup besar dilihat dari pendapatan bersih petani, dan pamasaran hasil yang dapat diserap pasar walaupun pasar lokal (Zuraida *et al.,* 2006). Selanjutnya, adanya potensi lahan rawa lebak yang tersedia masih cukup luas, yang apabila dapat dikelola/dimanfaatkan dengan baik dengan intensitas tanam yang ditingkatkan dari satu kali tanam menjadi dua

kali atau tiga kali tanam yang diikuti penyusunan pola tanam yang sesuai, maka akan terjadi lompatan produksi yang sangat signifikan (Irianto, 2006).

Tujuan penelitian ini adalah merumuskan model pengembangan lahan rawa lebak berbasis sumberdaya lokal untuk peningkatan produktivitas lahan dan pendapatan petani. Model ini dibangun melalui lima dimensi keberlanjutan yaitu dimensi ekologi, ekonomi, sosial budaya, teknologi dan kelembagaan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di dua lokasi, yaitu Desa Sungai Ambangah Kecamatan Sungai Raya, dan Desa Pasak Piang Kecamatan Sungai Ambawang, Kabupaten Kubu Raya Provinsi Kalimantan Barat. Lokasi penelitian ditentukan secara *purposive sampling*, yaitu dipilih secara langsung dua desa tersebut. Kemudian dari dua desa terpilih ditentukan secara sengaja petani yang tinggal di kawasan dan sekitar rawa lebak. Peneltian dilaksanakan pada bulan Februari 2010 sampai bulan Oktober 2010.

Jenis dan Sumber Data

Pengumpulan data primer dilakukan secara partisipatif melalui diskusi, wawancara, pengisian kuesioner, pengambilan contoh tanah, serta pengamatan langsung terhadap sistem usahatani di lokasi penelitian. Data sekunder diperoleh melalui studi pustaka, peta, laporan hasil penelitian, dan dokumen dari berbagai instansi yang berhubungan dengan bidang penelitian.

Analisis Data

Sesuai dengan tujuan penelitian serta jenis data dan sifat data yang dikumpulkan, maka analisis data yang dilakukan meliputi: (1) analisis kesesuaian lahan, (2) analisis kelayakan usahatani, (3) analisis kebutuhan hidup layak dan luas lahan minimal, (4) analisis keberlanjutan untuk masing-masing dimensi, (5) analisis *leverage*, (6) analisis *Monte Carlo*, (7) analisis kebutuhan pemangku kepentingan, dan (8) analisis prospektif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kesesuaian Lahan

Analisis kesesuaian lahan dilakukan dengan mencocokan antara data kualitas lahan dengan persyaratan penggunaan lahan untuk tanaman padi, karet dan kelapa sawit, sesuai dengan kriteria kesesuaian lahan yang diterbitkan oleh Balai Penelitian Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat (Djaenudin *et al.* 2003). Hasil analisis kesesuaian lahan di Desa Sungai Ambangah dan Pasak Piang, diperoleh kelas kesesuaian lahan aktual masing-masing pada kelas S3nr dengan faktor pembatas pH tanah, untuk tanaman padi, karet dan kelapa sawit.

Analisis Kelayakan Usahatani

Penilaian kelayakan usahatani menggunakan analisis BC ratio, NPV dan IRR. Dari serangkaian analisis usahatani terhadap ketiga komoditas padi, karet dan kelapa sawit, diperoleh rata-rata jumlah pendapatan petani dalam setahun di Desa Sungai Ambangah mencapai Rp 6 460 000/ha/thn, sedangkan Desa Pasak Piang mencapai Rp 8 567 667/ha/thn. Pendapatan petani ini apabila dihubungkan dengan standar kebutuhan hidup layak (KHL) di kedua lokasi penelitian tersebut yang mencapai Rp 24 000 000/KK/thn, maka di Desa Sungai Ambangah baru memenuhi sekitar 26,92% KHL. Sedangkan di Desa Pasak Piang baru memenuhi sekitar 35,70% KHL.

Hasil analisis usahatani padi, diperoleh tingkat pendapatan petani masing-masing adalah Rp 2 090 000/ha/thn di Sungai Ambangah dan Rp 1 900 000/ha/thn di Pasak Piang, dengan nilai R/C ratio adalah 3,3 dan 4,8. Hasil analisis NPV usahatani karet di Desa Sungai Ambangah pada kondisi eksisting memberikan keuntungan usaha sebesar Rp 18 276 218.20,- dan nilai B/C ratio mencapai 1.03. Sedangkan NPV usahatani karet di Desa Pasak Piang memberikan keuntungan usaha sebesar Rp 29 505 242.42,- atau mencapai 61.94% lebih besar dari nilai NPV di Desa Sungai Ambangah. Dan nilai B/C ratio mencapai 22.49. Hasil analisis NPV usahatani kelapa sawit di Sungai Ambangah dan Pasak Piang sebesar Rp 17 664 067,22 dengan asumsi suku bunga sebesar 18% per tahun

selama usahatani tersebut berlangsung. Sedangkan nilai B/C ratio hanya mencapai 0,31 dan nilai IRR sebesar 30,10%.

Luas lahan minimal (Lm) yang harus dimiliki petani di Desa Sungai Ambangah dan Pasak Piang dalam mengusahakan masing-masing tanaman untuk memenuhi KHL mereka, berturut-turut padi, karet dan kelapa sawit adalah 11,48; 6,21 dan 3,75 hektar di Sungai Ambangah dan 12,63; 3,35 dan 3,75 hektar di Pasak Piang. Selengkapnya hasil tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pendapatan petani, KHL, BC ratio, NPV, IRR dan Lm dari usahatani padi, karet, kelapa sawit di Desa Sungai Ambangah dan Pasak Piang

Parameter	Lokasi Penelitian	
	Sungai Ambangah	Pasak Piang
Pendapatan (Rp)		
- Padi	2 090 000	1 900 000
- Karet	4 370 000	6 667 667
- Kelapa Sawit	-	-
KHL (%)	26,92	35,70
B/C ratio (Rp)		
- Padi	3,30	4,80
- Karet	1,03	22,49
- Kelapa Sawit	0,31	0,31
NPV (Rp)		
- Karet	18 276 218,10	29 505 242,42
- Kelapa Sawit	17 664 067,22	17 664 067,22
IRR (%)		
- Kelapa Sawit	13.10	13,10
Lm (Ha)		
- Padi	11,48	12,63
- Karet	6,21	3,35
- Kelapa Sawit	3,75	3,75

Sumber : Hasil olahan; KHL = kebutuhan hidup layak; Lm = luas lahan minimal

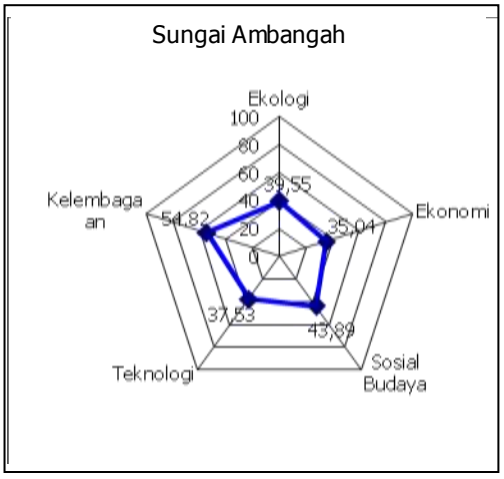
Status Keberlanjutan UT Rawa Lebak Saat ini untuk Masing-masing Dimensi

Status keberlanjutan usahatani rawa lebak di lokasi penelitian, ditentukan oleh nilai indeks keberlanjutan masing-masing dimensi. Untuk evaluasi keberlanjutan usahatani di rawa lebak dilakukan analisis terhadap 38 atribut. Atribut-atribut tersebut terdistribusi dilima dimensi yaitu dimensi ekologi, ekonomi, sosial budaya, teknologi dan kelembagaan. Nilai indeks dan status keberlanjutan yang diperoleh dari hasil analisis *Multidimensional scale* (MDS), sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

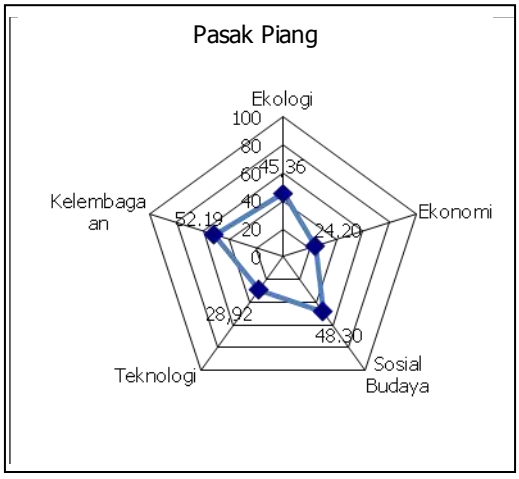
Tabel 2. Indeks keberlanjutan (%) Desa Sungai Ambangah dan Pasak Piang pada masing-masing dimensi

Dimensi keberlanjutan	Indeks keberlanjutan (%)	
	Sungai Ambangah	Pasak Piang
Ekologi	39.55	45.36
Ekonomi	35.04	24.20
Sosial	43.89	48.30
Budaya	37.53	28.92
Teknologi	54.82	52.19
Kelembagaan		

Nilai indeks keberlanjutan kelima dimensi di Desa Sungai Ambangah Tabel 2, memperlihatkan bahwa dimensi kelembagaan mempunyai nilai indeks keberlanjutan yaitu 54,82% atau pada kategori cukup berkelanjutan. Empat dimensi lainnya, berada pada kategori kurang berkelanjutan. Dimensi yang paling rendah nilai indeks keberlanjutannya adalah dimensi ekonomi yang hanya mencapai 35,04%. Nilai indeks keberlanjutan di Desa Pasak Piang, untuk dimensi kelembagaan diperoleh nilai indeks 52,19% atau pada kategori cukup berkelanjutan. Tiga dimensi lain, yaitu ekologi, sosial budaya dan teknologi berada pada kategori kurang berkelanjutan, sedangkan dimensi ekonomi berada pada kategori tidak berkelanjutan atau dengan nilai indeks keberlanjutan hanya mencapai 24,20%. Selengkapnya nilai indeks keberlanjutan masing-masing desa dalam bentuk diagram layang-layang disajikan pada Gambar 1 dan 2.



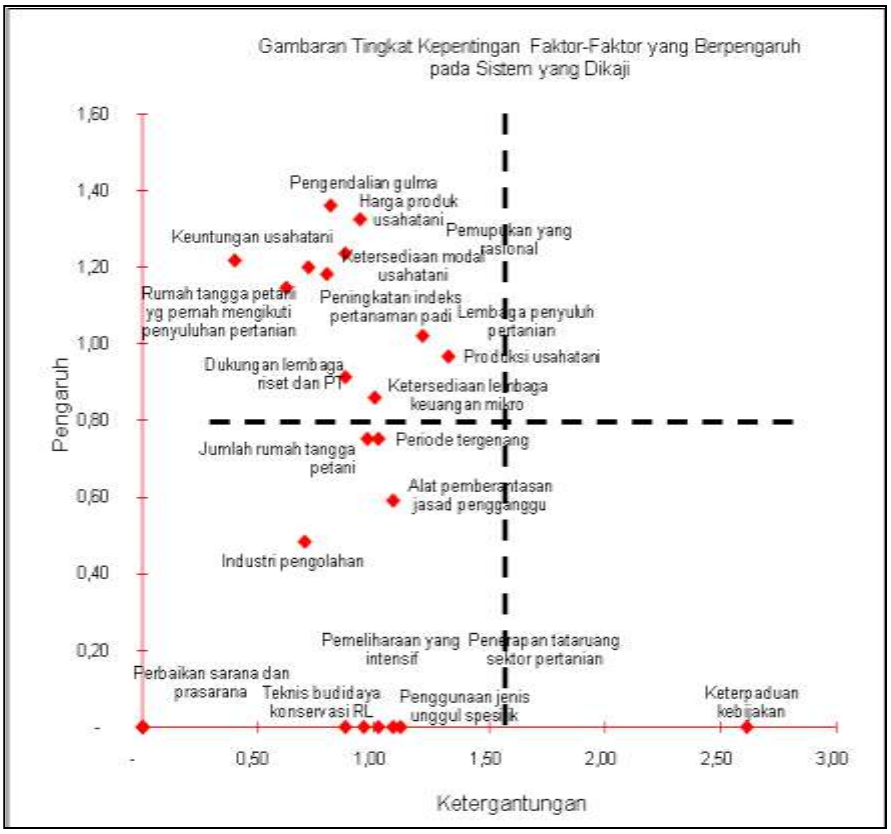
Gambar 1. Diagram layang analisis indeks dan status keberlanjutan rawa lebak di Sungai Ambangah.



Gambar 2. Diagram layang analisis indeks dan status keberlanjutan rawa lebak di Pasak Piang.

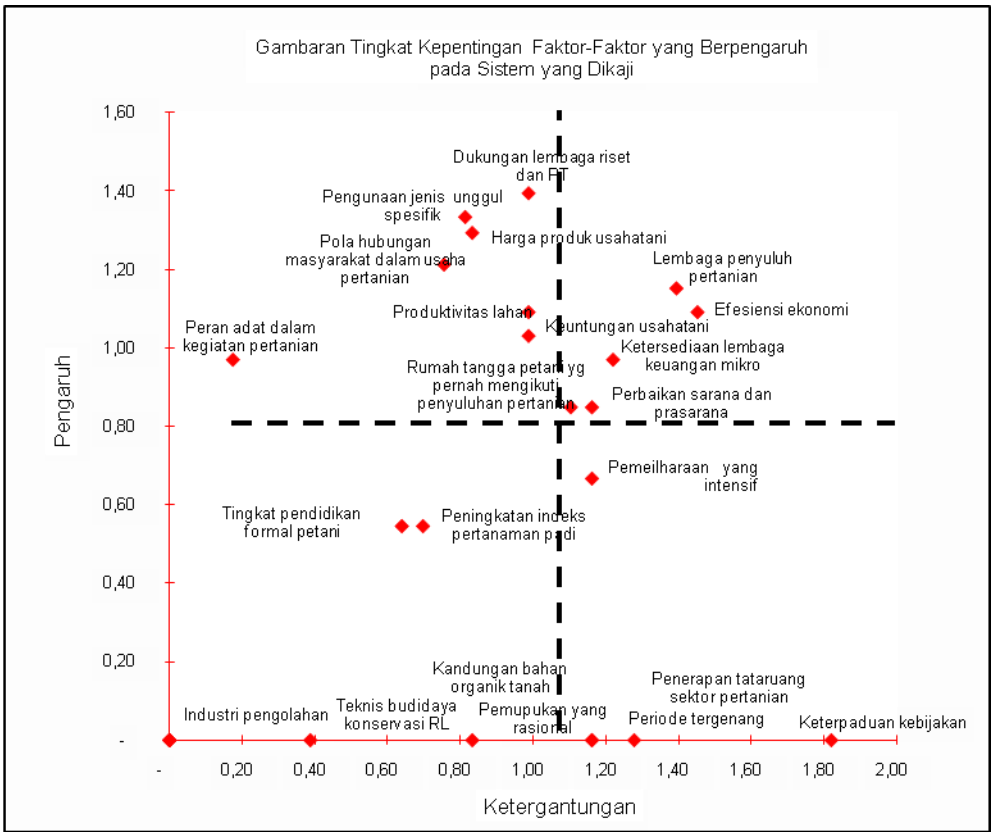
Variabel-variabel dominan model pengelolaan rawa lebak

Sebelum dilakukan penyusunan model pengelolaan lahan rawa lebak secara berkelanjutan, terlebih dahulu dilakukan penentuan faktor-faktor kunci yang berpengaruh terhadap perumusan model. Untuk mendapatkan faktor-faktor kunci tersebut dilakukan dengan menggunakan analisis prospektif.



Gambar 3. Pengaruh dan ketergantungan antar faktor pengungkit untuk desa Sungai Ambangah dan pemangku kepentingan.

Hasil analisis prospektif berupa matriks pengelompokkan empat kuadran untuk Desa Sungai Ambangah Gambar 3, dapat diidentifikasi pengaruh dan ketergantungan faktor-faktor kunci dalam upaya pengelolaan rawa lebak berkelanjutan. Berdasarkan hasil penilaian pengaruh langsung antar faktor di atas, dari 21 faktor kunci yang teridentifikasi didapatkan sebelas faktor yang mempunyai pengaruh kuat terhadap kinerja sistem dengan ketergantungan faktor yang rendah.



Gambar 4. Pengaruh dan ketergantungan antar faktor pengungkit untuk desa Pasak Piang dan pemangku kepentingan.

Hasil analisis prospektif berdasarkan hasil penilaian pengaruh langsung antar faktor untuk Desa Pasak Piang Gambar 4, dari 22 faktor kunci yang teridentifikasi didapatkan tujuh faktor yang mempunyai pengaruh kuat terhadap kinerja sistem dengan ketergantungan faktor yang rendah. Kesebelas faktor untuk Desa Sungai Ambangah dan tujuh faktor untuk Desa Pasak Piang, perlu dikelola dengan baik dan dibuat kondisi (*state*) yang mungkin terjadi di masa depan untuk pengelolaan rawa lebak berkelanjutan.

Skenario Model Pengelolaan Lahan Rawa Lebak

Skenario yang dibangun, menggunakan tiga skenario yaitu skenario I, II, dan III. Ketiganya merupakan gambaran kondisi masa depan. Skenario-skenario tersebut disusun dengan melakukan beberapa perbaikan terhadap faktor-faktor penting/pengungkit yang diperoleh sebelumnya. Selanjutnya, skenario yang telah ditetapkan kemudian disimulasikan melalui analisis MDS, untuk dinilai kembali

indeks dan status keberlanjutannya. Perbaikan terhadap faktor-faktor penting melalui ketiga skenario, dilakukan dengan cara meningkatkan nilai skor terhadap atribut sensitif atau faktor penting baik di Desa Sungai Ambangah maupun Desa Pasak Piang. Selengkapnya hasil tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai indeks keberlanjutan masing-masing skenario, nilai indeks keberlanjutan gabungan antara MDS dan kebutuhan *stakeholders*, BC ratio, persentase KHL dan Lm antara kondisi eksisting dengan masing-masing skenario untuk Desa Sungai Ambangah dan Pasak Piang

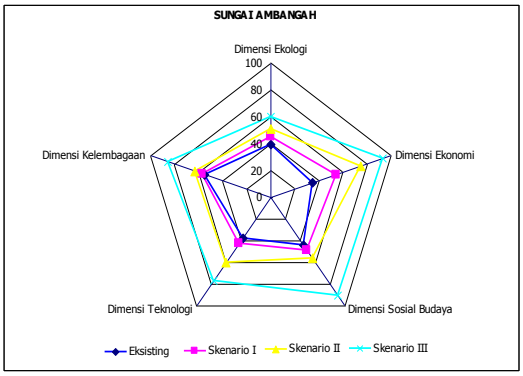
Desa / Dimensi	Nilai indeks keberlanjutan (%)			
	Eksisting	Skenario I	Skenario II	Skenario III
Sui Ambangah				
Ekologi	39.55	45.29	50.89	59.71
Ekonomi	35.04	54.43	74.93	92.91
Sosial budaya	43.89	48.39	56.38	90.55
Teknologi	37.53	42.30	60.28	76.68
Kelembagaan	55.15	56.74	63.35	85.70
Gabungan	45.40	47.59	56.69	62.70
B/C[1)] ratio	1.55	1.57	1.69	1.82
Padi	3.30	3.37	3.67	3.87
Karet	1.03	1.05	1.15	1.21
Kelapa sawit	0.31	0.32	0.34	0.36
KHL(%)[2)]	26.92	28.86	32.02	37.39
Lm (ha/KK)[3)]	7.15	3.61	2.76	1.35
Padi	11.48	11.23	10.20	9.49
Karet	6.21	6.07	5.52	5.14
Kelapa sawit	3.75	3.67	3.33	3.10
Pasak Piang				
Ekologi	45.36	54.00	68.46	79.89
Ekonomi	24.20	44.54	60.26	67.11
Sosial budaya	48.30	55.82	66.40	80.18
Teknologi	28.92	40.33	51.98	72.58
Kelembagaan	51.41	56.78	64.31	76.23
Gabungan	44.92	50.01	56.16	62.92
B/C[1)] ratio	9.20	10.18	12.27	12.47
Padi	4.80	5.3	5.89	6.51
Karet	22.49	24.89	27.58	30.49
Kelapa sawit	0.31	0.34	0.38	0.42
KHL(%)[2)]	35.70	39.50	43.78	48.39
Lm (ha/KK)[3)]	6.58	3.27	2.61	1.63
Padi	12.63	11.28	9.77	8.14
Karet	3.25	2.90	2.51	2.09
Kelapa sawit	3.75	3.35	2.90	2.42

Keterangan : [1)]Benefit-Cost rasio, [2)]Kebutuhan Hidup Layak, [3)]Luas lahan Minimal.

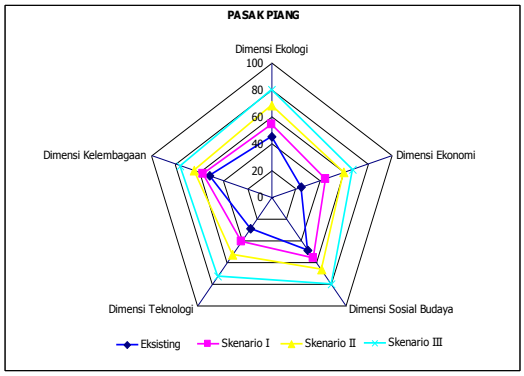
Hasil analisis keberlanjutan antara masing-masing skenario dan kondisi saat ini (eksisting) yang dirangkum dalam bentuk diagram layang-layang (*kite diagram*) sebagaimana disajikan pada Gambar 5 dan 6. Untuk Desa Sungai

Ambangah Gambar 5 memperlihatkan bahwa dari kelima dimensi keberlanjutan yang dianalisis, diperoleh hasil pada skenario I terdapat dua dimensi yang dikategorikan cukup berkelanjutan yaitu dimensi ekonomi dan kelembagaan yang mempunyai nilai indeks keberlanjutan masing-masing sebesar 54,43% dan 56,74%. Untuk skenario II, dari kelima dimensi yang dianalisis diperoleh nilai indeks keberlanjutan berkisar antara 50,89 – 74,93% atau pada kategori cukup berkelanjutan untuk semua dimensi. Sedangkan pada skenario III, diperoleh nilai indeks keberlanjutan sebesar 59,71% untuk dimensi ekologi atau pada kategori cukup berkelanjutan, dan empat dimensi lainnya diperoleh nilai indeks keberlanjutan berkisar antara 76,68 – 92,91% atau pada kategori cukup berkelanjutan dan sangat berkelanjutan.

Untuk Desa Pasak Piang Gambar 6 memperlihatkan bahwa kelima dimensi keberlanjutan yang dianalisis, diperoleh hasil pada skenario I terdapat tiga dimensi yang dikategorikan cukup berkelanjutan yaitu dimensi ekologi, sosial budaya dan kelembagaan yang mempunyai nilai indeks keberlanjutan masing-masing sebesar 54,00%, 55,82%, dan 56,78%. Untuk skenario II, dari kelima dimensi yang dianalisis diperoleh nilai indeks keberlanjutan berkisar antara 51.98 – 68,46% atau pada kategori cukup berkelanjutan untuk semua dimensi. Dan untuk skenario III, diperoleh nilai indeks keberlanjutan sebesar 67,11% untuk dimensi ekonomi dan 72,58% untuk dimensi teknologi atau keduanya pada kategori cukup berkelanjutan, dan tiga dimensi lainnya diperoleh nilai indeks keberlanjutan berkisar antara 76,23 – 80,18% atau pada kategori cukup berkelanjutan dan sangat berkelanjutan.



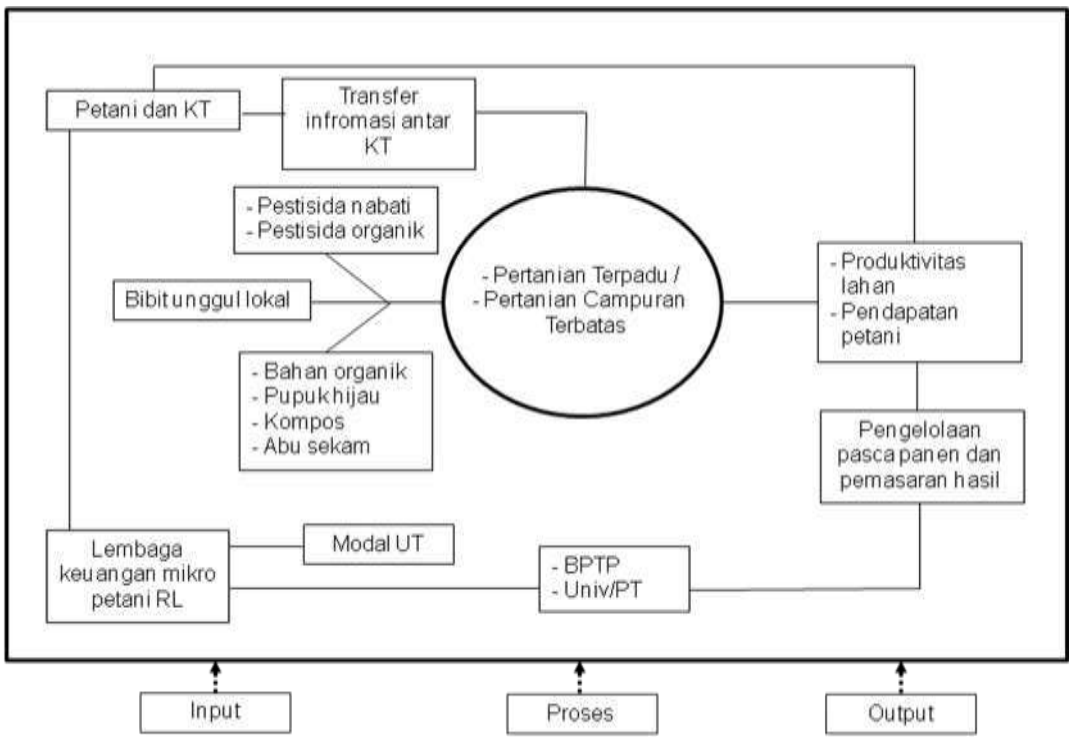
Gambar 5 Indeks keberlanjutan lima dimensi keberlanjutan masing-masing pada kondisi eksisting, skenario I, II, dan II untuk desa Sungai Ambangah



Gambar 6 Indeks keberlanjutan lima dimensi keberlanjutan masing-masing pada kondisi eksisting, skenario I, II, dan II untuk desa Pasak Piang

Model Pengembangan ULRL Berbasis Sumberdaya Lokal

Model pengelolaan Usahatani Lahan Rawa Lebak (ULRL) dari hasil penelitian ini merupakan suatu bentuk rekomendasi kebijakan. Dari tiga skenario yang disusun sebagai alternatif pilihan dalam penerapan pengelolaan lahan rawa lebak berkelanjutan, dengan mempertimbangkan ketersediaan sumberdaya lokal di lokasi penelitian, maka skenario yang direkomendasikan dari penelitian ini adalah skenario III baik di Desa Sungai Ambangah maupun Desa Pasak Piang dengan berbagai faktor yang perlu mendapatkan perhatian dan perbaikan. Adapun faktor yang menjadi rekomendasi yaitu: [1] Pertanian Terpadu dan Pertanian Campuran Terbatas, [2] Penggunaan bibit unggul local, [3] Pengunaan BO (pupuk hijau, kompos, pukan dan abu sekam), [4] Pengunaan pestisida nabati/organik, [4] Ketersediaan modal usahatani, [5] Lembaga keuangan mikro petani RL, [6] Transfer informasi antar KT, [7] Meningkatkan peran petani dan KT, [8] Meningkatkan dukungan BPTP dan PT, dan [9] Memperbaiki sistem pengelolaan pascapanen dan pemasaran hasil. Model pengelolaan tersebut sebagaimana disajikan dalam bentuk Gambar 7.



Gambar 7 Model pengembangan UTRL berbasis sumberdaya lokal

KESIMPULAN

1. Kelas kesesuaian lahan untuk masing-masing tanaman yang diusahakan adalah pada kelas sesuai marginal (S3nr), dengan faktor pembatas adalah pH tanah, baik di desa Sungai Ambangah maupun desa Pasak Piang.
2. Analisis usahatani masing-masing tanaman yang diusahakan diperoleh hasil sebagai berikut: [1] tanaman padi nilai R/C ratio 3,30 untuk Desa Sungai Ambangah dan 4,8 untuk desa Pasak Piang; [2] tanaman karet nilai B/C ratio dan NPV masing-masing desa adalah 1,03 dan Rp 18 276 218,10, dan 22,49 dan Rp 29 505 242,42; dan [3] tanaman kelapa sawit diperoleh nilai B/C ratio, NPV, IRR masing-masing desa berturut-turut 0.31, Rp 17 664 067,22 dan 30,10%, dan 0,31; Rp 17 664 067,22 dan 30;10%. Apabila dihubungkan dengan nilai KHL dan Lm yang harus dipenuhi, maka petani di Desa Sungai Ambangah hanya dapat memenuhi sebesar 29.92% KHL dan memerlukan luas lahan minimal (Lm) sekitar 7.15 hektar. Sedangkan untuk petani di Desa Pasak Piang dapat memenuhi sebesar 35.70% KHL dan memerlukan luas lahan minimal (Lm) sekitar 6.58 hektar.
3. Status keberlanjutan untuk lima dimensi keberlanjutan pada kondisi eksisting di desa Sungai Ambangah diperoleh nilai indeks sebesar 55,15% atau pada kategori cukup berkelanjutan untuk dimensi kelembagaan, sedangkan empat dimensi lainnya diperoleh nilai kurang berkelanjutan. Untuk desa Pasak Piang diperoleh nilai indeks sebesar 51,41% atau pada kategori cukup berkelanjutan untuk dimensi kelembagaan, sedangkan empat dimensi lainnya diperoleh nilai kurang berkelanjutan.
4. Rekomendasi model pengembangan UTRL berkelanjutan adalah menggunakan skenario III, yaitu dengan cara menerapkan pola pertanian terpadu atau pertanian campuran. Usahatani model ini dalam hal penerapan pemupukan dan pemberantasan hama dan penyakit menggunakan pupuk organik/kompos/sekam/abu sekam dan

   menggunakan pestisida nabati/organik. Petani di dalam mengelola usahatani, bekerja secara berkelompok, sedangkan informasi mengenai sistem usahatani yang baik, dapat dilakukan melalui tukar-menukar informasi antar kelompok tani dan adopsi teknologi melalui Badan Pengkajian Teknologi Pertanian dan

Perguruan Tinggi. Ketersediaan modal usahatani dapat dilakukan melalui pengumpulan dana dari petani berupa iuran anggota kelompok tani atau dari sumber lain yang kemudian dikelola oleh lembaga keuangan mikro rawa lebak (LKMRL). Pengurus LKMRL berasal dari petani setempat yang dipilih melalui musyawarah dan kesepakatan bersama antar petani.

DAFTAR PUSTAKA

Arsyad L. 2008. Lembaga Keuangan Mikro: institusi, kinerja dan Sustainabilitas. CV. Andi Offset, Yogyakarta.

Bourgeois R. 2007. Bahan Pelatihan Analisis Prospektif Partisipatif, Taining of Trainer. ICASEPS, Bogor.

Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian. 2008. "Teknologi Budidaya Kelapa Sawit", Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

Chairil, A. 2001. Budidaya Karet, Pusat Penelitian Karet, Medan.

Deptan (Departemen Pertanian, 2007. Pedoman Penumbuhan dan Pengembangan Kelompok Tani dan Gabungan Kelompok Tani.

Dinas Pertanian, 2008. Laporan Penggunaan Lahan Provinsi Kalimantan Barat, Pemerintah Provinsi Kalimantan Barat.

Djaenudin, D., Marwan, H, Subagjo, H dan A. HIdayat. 2003. Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian, Balai Penelitian Tanah, Puslitbangtanak-Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.

Gittinger, J.P. 1986. Economic Analysis of Agriculture Project, The John Hopkins University Press. Terjemahan: Slamet Sutomo dan Komet Mangiri. Analisa ekonomi proyek-proyek pertanian. Universitas Indonesia Press, Jakarta.

Houle, C.O. 1975. The Nature of Adult Education. Ney York. David Mc Kay Company, Inc. Third Edition.

Kavanagh, P. 2001. Rapid Appraisal of Fisheries (Rapfish) project, Rapfish Software Des Eruption (For Microsoft Excel). University of British Colombia, Fisheries Centre, Vancouver.

Kitinoja, L., and A.A. Kader. 1993. Small-Scale Post Harvest Handling Practices: A Manual for Horticultural Crops. Departemen of Pomology, University of California. Davis, California.

Nazemi D., Yanti R., dan Sutikno H. 2006. Faktor-faktor Penentu Pola Pemanfaatan Lahan Lebak dalam Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lahan Terpadu. Banjarbaru 28 – 29 Juli 2006.

Noor, M. 2007. Rawa Lebak, Ekologi, Pemanfaatan, dan Pengembangannya, PT. RajaGrafindo Persada, Jakarta.

Pusat Peneltian Tanah dan Agroklimat. 2000. Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya, Puslittanak, Bogor.

Pitcher, T.J., and P. David. 2001. RAPFISH: A Rapid Appraisal Technique to Evaluate the Sustainabiity Status of Fisheries Research.

Saifuddin, E.S. 1986. Kesuburan dan Pemupukan Tanaman Pertanian. Penerbit Pustaka Buana, Bandung.

Sajogyo. 2006. Ekososiologi Deideologisasi Teori, Restrukturisasi Aksi (Petani dan Perdesaan sebagai Kasus Uji). Cinderelaras Pustaka Rakyat Cerdas, Yogyakarta.

Sinukaban, N. 2007. Membangun Pertanian Menjadi Industri yang Lestari dengan Pertanian Konservasi *dalam:* N Sinukaban. Konservasi Tanah dan Air Kunci Pembangunan Berkelanjutan. Direktorat Jenderal RLPS, Jakarta.

Slamet, M. 2003. Membentuk Pola Perilaku Pembangunan: Paradigma Baru Penyuluhan Pertanian di Era Otonomi Daerah. Penyunting Ida Yustina dan Adjat Sudrajat. Bogor, IPB Press.

Soekartawi. 2002. Analisis Usahatani, Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Summanth, D.J. 1985. Productivity Engineering and Management, Mc Graw Hill Book Company. New York.

Sumintaredja S. 2001. Penyuluhan Pertanian . Jakarta. Yayasan Pengembangan Sinar Tani.

Sunarso. 2005. Pembagian Kerja Pada Sistem Usahatani Sayuran (*Kasus Kelompok Tani Bambu Duri, Desa Cimanggis, Kecamatan Bojong Gede, Kabupaten Bogor, Propinsi Jawa Barat*), [skripsi] Institut Pertanian Bogor.

Tim Penulis PS, 2008. Agribisnis Tanaman Perkebunan. Penebar Swadaya, Jakarta.

Wijoyo, W.W., 2005. Pemberdayaan lembaga keuangan mikro sebagai salah satu Pilar Sistem Keuangan Nasional: Upaya konkrit Memutus Mata Rantai Kemiskinan. Jurnal Kajian Ekonomi dan Keuangan: edisi khusus November, Jakarta.

Wardoyo dan H. Prabowo, 2003). Kinerja Lembaga Keuangan Mikro bagi Upaya Penguatan Usaha Mikro, kecil dan Menengah di Wilayah Jabodetabek. www.google.co.id (28 November 2010).

Wiriaatmadja, S. 1977. Pokok-Pokok Penyuluhan Pertanian. CV. Yasaguna Jakarta.

Zaenudin, 2004. Panduan Lengkap Budidaya Kakao. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, AgroMedia Pustaka, Jakarta.

PENGEMBANGAN METODOLOGI UNTUK IDENTIFIKASI TINGKAT DEGRADASI LAHAN DI LAHAN KERING MENDUKUNG PENDAYAGUNAAN LAHAN TERLANTAR UNTUK KEPERLUAN PERTANIAN

(Developing of Methodology for Identification of Land Degradation Level on Dryland Supporting Utilisation of Abandoned Land for Agriculturel Purposes)

Santun R.P. Sitorus, Oteng Haridjaja, Asdar Iswati, Dyah R. Panuju
Dep. Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan metodologi meliputi kriteria (selang pengkelasan) dan klasifikasi tingkat degradasi lahan di lahan kering untuk skala tinjau dan semi-detil berdasarkan variabel penentu tingkat degradasi lahan. Penelitian dilakukan di 4 kecamatan di Kabupaten Bogor dari bulan Juli sampai November 2010. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei melalui studi kasus dengan teknik analisis data : Uji-F, Analisis Diskriminan (*Discriminant Analyis*), dan analisis gerombol (*Cluster Analysis*). Penelitian menghasilkan dua kriteria dan selang pengkelasan dari 5 variabel penentu tingkat degradasi lahan untuk skala tinjau, dan menghasilkan tiga kriteria dan selang pengkelasan untuk skala semi-detil dari 7 variabel penentu tingkat degradasi lahan. Penelitian ini menghasilkan dua kelas tingkat degradasi lahan untuk skala tinjau yaitu : 1) lahan tidak terdegradasi, 2) lahan terdegradasi. Untuk skala semi-detil dihasilkan tiga kelas tingkat degradasi lahan yaitu : 1) lahan tidak terdegradasi, 2) lahan terdegradasi sedang, dan 3) lahan terdegradasi berat. Kisaran nilai masing-masing variabel juga sudah dikemukakan.

Kata kunci : Degradasi lahan, klasifikasi, kriteria, lahan terlantar, metodologi.

ABSTRACT

The objectives of the study were to develop methodology including criteria (class interval) and classification of land degradation level in dry land for the reconnaissance and semi-detailed scales. The study was conducted at 4 kecamatan in Bogor Regency from July to November 2010. Method used in this research was surveying with data analysis techniques including: F-test, Discriminant Analysis, and Cluster Analysis. The result produced two criteria (class interval) of main factors involving 5 variables for the reconnaissance scale and three criteria (class interval) for semi-detailed scale of 7 significantly important variables. This research also produced two classes of land degradation for reconnaissance scale, those are: 1) non-degraded, and (2) degraded land. Besides, it was also generated three classes of semi-detailed class of land degradation, which are 1) non degraded land, 2) moderately degraded land, and 3) strongly degraded land. Interval value of each variable was also reported.

Keywords : Land degradation, classification neglected land, methodology.

PENDAHULUAN

Degradasi lahan adalah proses penurunan produktivitas lahan yang sifatnya sementara maupun tetap dicirikan dengan penurunan sifat fisik, kimia dan biologi. Lahan kritis merupakan salah satu bentuk lahan terdegradasi (Dariah, *et al*., 2004). Luas lahan kritis di Kabupaten Bogor mencapai 25.229,98 ha pada tahun 2008 (Dinas Pertanian dan Kehutanan Kabupaten Bogor, 2008). Menurut Dariah, *et al*. (2004), penyebab utama degradasi lahan di Indonesia adalah erosi air sebagai akibat curah hujan dengan jumlah dan intensitas yang tinggi terutama di Indonesia Bagian Barat. Selain itu, pengelolaan lahan kering berlereng yang tidak memperhatikan aspek konservasi tanah dan kelestarian lingkungan, serta pencemaran bahan kimia juga merupakan penyebab degradasi lahan (Syam, 2003; Singer dan Munns, 2006; Tan, 2009). Proses degradasi lahan yang disebabkan oleh erosi air dikategorikan sebagai degradasi erosif yaitu proses degradasi yang berhubungan dengan pemindahan bahan atau material tanah oleh kekuatan air (Sitorus, 2009).

Dalam rangka mendukung rencana pemerintah mendayagunakan lahan terlantar termasuk lahan kering terdegradasi untuk pengembangan pertanian, maka perlu dilakukan identifikasi dan inventarisasi tingkat degradasi, sehingga rencana penggunaan dan tindakan rehabilitasinya dapat disusun dengan lebih terarah dan tepat sasaran. Beberapa instansi pemerintah, diantaranya: Departemen Kehutanan melalui Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan dan Pusat Penelitian Tanah menggunakan pendekatan dalam inventarisasi dan upaya penanggulangan lahan terdegradasi, diantaranya adalah kriteria lahan kritis. Selain itu, parameter-parameter yang digunakan dalam penilaian lahan kritis umumnya bersifat kualitatif, sehingga untuk kegunaan praktis agak sukar diaplikasikan di lapangan. Oleh karena itu, dapat dipahami terdapat perbedaan data luas dan penyebaran lahan kritis di Indonesia yang menyebabkan prioritas penanganan dan penanggulangannya pun berbeda-beda (Kurnia, *et al*., 2007).

Menurut Kurnia, *et al*. (2007), Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat telah meneliti dan membuat rancang bangun kriteria lahan terdegradasi disebut SODEG dengan menggunakan pendekatan penilaian parameter-parameter sumberdaya lahan yang bersifat alami *(natural assessment)*,

dan paramater-parameter sumberdaya lahan yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia *(antrophogenic assessment)*. Namun demikian, masih diperlukan perbaikan terhadap kriteria degradasi lahan yang telah dihasilkan tersebut terutama parameter curah hujan, kedalaman tanah, serta vegetasi dan penutupannya. Selain itu, skala penelitiannya baru pada taraf perencanaan, sehingga dalam aplikasinya masih banyak mengalami hambatan. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian pengembangan kriteria dan klasifikasi tingkat degradasi lahan untuk skala operasional (lebih detil) yang penyusunan dan pengembangannya melalui penelitian yang lebih sistematis. Berdasarkan hal tersebut maka tujuan penelitian ini adalah : 1) menghasilkan kriteria untuk tiap variabel penentu tingkat degradasi lahan di lahan kering pada skala tinjau dan semi-detil, 2) menghasilkan klasifikasi tingkat degradasi lahan di lahan kering pada skala tinjau dan semi-detil.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di empat kecamatan di Kabupaten Bogor yang mewakili Wilayah Pengembangan Bogor Timur, Bogor Tengah, dan Bogor Barat yaitu : 1) Kecamatan Jonggol, 2) Kecamatan Cileungsi, 3) Kecamatan Sukaraja, dan 4) Kecamatan Jasinga. Waktu penelitian 5 bulan dari bulan Juli 2010 sampai bulan November 2010.

Jenis dan Sumber Data

Penelitian menggunakan data primer dan data sekunder yang mencakup karakteristik tanah, iklim dan penggunaan lahan. Peta dasar yang digunakan adalah Peta RBI skala 1:25.000, dengan peta pendukung berupa peta penyebaran lahan kritis Kecamatan Jonggol, Kecamatan Cileungsi, Kecamatan Sukaraja, Kecamatan Jasinga skala 1:50.000; peta tanah Kabupaten Bogor skala 1:100.000; 2 scene Citra ALOS AVNIR tahun 2009, serta peta RTRW Kabupaten Bogor skala 1:100.000.

Prosedur Penelitian

Penelitian menggunakan metode survei melalui studi kasus dan analisis di laboratorium. Pelaksanaan penelitian dibagi ke dalam empat tahapan kegiatan, yaitu: 1) menentukan tingkat degradasi lahan sementara berdasarkan peta lahan kritis dari Dinas

Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Bogor, 2) melakukan survei lapang untuk mengumpulkan data primer dan data sekunder, 3) melakukan analisis laboratorium contoh tanah dan analisis data, dan 4) menyusun kriteria dan klasifikasi tingkat degradasi lahan.

Metode Pengumpulan Data dan Variabel yang Diamati

Pengumpulan data biofisik lahan dan kimia tanah dilakukan pada tiap daerah kunci (*key region*), yaitu unit lahan berdasarkan kecamatan pada tiap kategori kelas kekritisan lahan yaitu: sangat kritis, kritis, agak kritis, potensial kritis dan tidak kritis. Jumlah keseluruhan *key region* ada 36 unit lahan (diperoleh dari 4 kecamatan x 3-5 kelas kekritisan x 2-4 ulangan). Pada masing-masing *key region* diambil contoh tanah dengan metode ring dan komposit sehingga keseluruhan contoh tanah berjumlah 72 (36 contoh ring dan 36 contoh komposit).

Variabel data biofisik yang dikumpulkan meliputi: curah hujan, jenis erosi, bahan induk, jenis tanah, topografi, kedalaman efektif, batuan di permukaan, singkapan batuan, jenis penggunaan lahan/vegetasi, tindakan konservasi tanah, tekstur, struktur, *bulk density* dan permeabilitas; sedangkan variabel kimia tanah meliputi pH, C-organik, N-total, P-tersedia, Ca, Mg, K, Na, Kapasitas Tukar Kation (KTK), Kejenuhan Basa (KB), Al-dd dan H-dd.

Teknik Analisis Data

Analisis Ragam (Uji F)

Analisis ragam dengan prinsip uji-F dilakukan untuk menguji secara deskriptif nilai tengah berbagai karakteristik lahan, baik karakteristik fisik maupun kimia tanah. Tujuan dari analisis ragam adalah menguji perbedaan nyata nilai tengah dengan membandingkan ragam data. Analisis dilakukan dengan membagi ragam (ragam total) berdasarkan sumbernya, dirinci menjadi ragam antar kelompok (tingkat kekritisan) serta ragam dalam kelompok. Hipotesis nolnya adalah tidak ada perbedaan nilai tengah antar tingkat kekritisan lahan, ragam dugaan di dalam kelompok kekritisan tertentu seharusnya sama dengan ragam antar tingkat kekritisan yang berbeda. Selanjutnya dilakukan pengujian berdasarkan tingkat kepercayaan tertentu (95% dan 90%). Jika hasil pengujian nyata, maka Ho

ditolak artinya bahwa nilai tengah (rata-rata karakteristik) berbagai tingkat kekritisan lahan berbeda.

Analisis Gerombol (*Cluster Analysis*)

Analisis gerombol dilakukan untuk menentukan kriteria (selang pengkelasan) dari masing-masing variabel penentu tingkat degradasi lahan berdasarkan karakteristik yang dimiliki. Salah satu metode terbaik yang dapat digunakan untuk analisis gerombol menurut Morrison (1990) dan Simamora (2005) adalah metode *Varians Wards*. Metode varians bertujuan memperoleh klaster/kelompok yang memiliki varians internal klaster yang sekecil mungkin. Secara matematis metode varians yang didasarkan pada kriteria kedekatan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} (v_{ik} - v_{jk})^2}$$

di mana : d_{ij} = jarak *Euclidean* antara pengamatan ke-i dan ke-j; v_{ik}, v_{jk} = nilai karakteristik fisik dan kimia pada pengamatan ke-i dan ke-j pada variabel k (k=1, 2, ..., n).

Analisis Diskriminan (*Discriminant Analysis*)

Analisis diskriminan digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat degradasi lahan. Model analisis diskriminan adalah sebuah persamaan yang menunjukkan suatu kombinasi linier dari berbagai variabel *independent*, dengan rumus sebagai berikut (Morrison, 1990; Simamora, 2005 dan Priyanto 2007):

$D = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + ... + b_kX_k$

di mana : D = skor diskriminan (*criterion* atau variabel *dependent*); b = koefisien diskriminan atau bobot; X = *predictor* atau variabel *independent*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum Wilayah Penelitian

Lokasi penelitian merupakan lahan kering di Kabupaten Bogor tepatnya di empat kecamatan yaitu Kecamatan Sukaraja, Jasinga, Jonggol, dan Cileungsi masing-masing mewakili Wilayah Pengembangan Bogor Barat, Bogor Tengah,

dan Bogor Timur yang berada pada ketinggian 93 – 771 m dpl. Kabupaten Bogor secara geografis terletak antara koordinat $6^{o}18'00"$ - $6^{o}47'10"$ Lintang Selatan dan $106^{o}23'45"$ - $107^{o}13'30"$ Bujur Timur, berdekatan dengan Ibukota Negara sebagai pusat pemerintahan, jasa dan perdagangan dengan aktivitas pembangunan yang cukup tinggi. Perkembangan pembangunan yang sangat pesat dikhawatirkan dapat mengakibatkan degradasi lahan yang pada akhirnya dapat mengancam kelestarian sumberdaya alam dan lingkungan di Kabupaten Bogor (BAPPEDA, 2007).

Karakteristik biofisik lingkungan di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 yaitu : rata-rata curah hujan tahunan yang cukup tinggi (> 2000 mm/tahun), topografi yang sangat beragam, didominasi bergelombang sampai berbukit, bahan induk volkan dan sedimen yang peka terhadap erosi, dan penggunaan lahan yang cukup intensif tanpa memperhatikan kaidah-kaidah konservasi, sehingga sangat mendorong proses degradasi yang dipercepat melalui erosi air, dengan tingkat erosi ringan sampai sangat berat (Saba, 2001). Hal ini dapat dilihat dari data luas lahan kritis di lokasi penelitian yang cukup tinggi (3.448 ha atau 13% dari luas wilayah penelitian) dengan persentase batuan di permukaan dan singkapan batuan yang cukup tinggi (> 15%). Curah hujan yang tinggi di lokasi penelitian menyebabkan struktur tanah di lapisan atas berbentuk granuler, tekstur liat, BD 0,99-1,02, dengan permeabilitas agak cepat sampai cepat pada lapisan atas, sedangkan pada lapisan bawah struktur lebih padat dengan permeabilitas yang lebih lambat, sehingga aliran permukaan lebih besar. Menurut Firmansyah (2003), *bulk density* dan pasir pada tanah terdegradasi lebih tinggi 13% sampai 14% dibandingkan dengan tanah yang tidak terdegradasi. Penggunaan lahan berupa tegalan yang diusahakan untuk usahatani ubikayu pada lahan-lahan berlereng akan mengurangi persentase tutupan lahan. Tanpa adanya usaha konservasi tanah dan air yang baik dapat mempercepat proses degradasi lahan.

Karakteristik kimia tanah di lokasi penelitian menunjukkan bahwa akibat curah hujan tinggi dengan jenis tanah Ultisols, Oxisols dan Alfisols menyebabkan pH masam dengan Al-dd sedang; C-organik, N-total, dan P-tersedia rendah; Ca, Mg, K, Na rendah sehingga KTK dan KB rendah (Hardjowigeno, 2003; Fauzi *et al.* 2004; Prasetyo dan Suharta, 2004). Hasil penelitian Firmansyah (2003), menunjukkan tanah yang terdegradasi C-organiknya lebih rendah 38% dan basa-basa dapat ditukar lebih rendah

55% dibandingkan dengan tanah yang tidak terdegradasi. Selain itu, pH cenderung lebih rendah terutama pada tanah mineral.

Tabel 1. Karakteristik Umum Empat Kecamatan Contoh

No.	Karakteristik	Kecamatan			
		Jasinga	**Sukaraja**	**Jonggol**	**Cileungsi**
1	Ketinggian tempat	79 – 133 mdpl	377 – 559 mdpl	89 – 102 m dpl	79 – 99 m dpl
2	Curah Hujan Tahunan	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
3	Kedalaman efektif	Dangkal-Sedang	Sedang	Dalam	Sedang-Dalam
4	Kelas drainase tanah	Baik	Baik	Baik	Baik
5	Topografi	Berombak - berbukit	Berombak – bergelombang	Berombak - Bergelombang	Berombak - Bergelombang
6	Permeabilitas	lambat	lambat	Lambat	Lambat
7	Tekstur	Liat	Liat	Liat berdebu, liat	Liat berdebu, Liat
		Lempung berpasir, berdebu	Lempung Liat Berpasir	Berlempung	
8	Struktur tanah	Granular, Gumpal,	Gumpal, lempeng, pejal	Granular, gumpal	Gumpal, Granular
9	Erodibilitas Tanah (K)	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
10	Kemiringan Lereng (%)	21 -28	21 - 31	11 - 18	7 – 19
11	Penggunaan lahan utama	Kebun campuran,	Kebun Campuran,	Kebun campuran	Kebun Campuran
12	Keadaan batuan	Tidak ada	Tidak ada	Sedang	Tidak ada, Sedikit
13	Tingkat bahaya erosi	Ringan – Agak berat	Rendah - sedang	Ringan-Sedang	Ringan-Sedang
14	pH H_2O	Masam	Sangat Masam	Masam	Masam
15	C-org (%)	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah
16	N-total (%)	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
17	C/N	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
18	P_2O_5 Bray I (ppm)	Sangat Rendah	Sangat Rendah	Sangat Rendah	Sangat Rendah
19	Ca (me/100g)	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
20	Mg (me/100g)	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah
21	K (me/100g)	Rendah	Sangat Rendah	Rendah	Rendah
22	Na (me/100g)	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
23	KTK (me/100g)	Tinggi	Rendah	Rendah	Sedang
24	Kejenuhan Basa (%)	Rendah	Sangat Rendah	Rendah	Sedang
25	Kejenuhan Al (%)	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah

Sebaran Lahan Kritis dan Deskripsi Karakteristiknya di Wilayah Studi

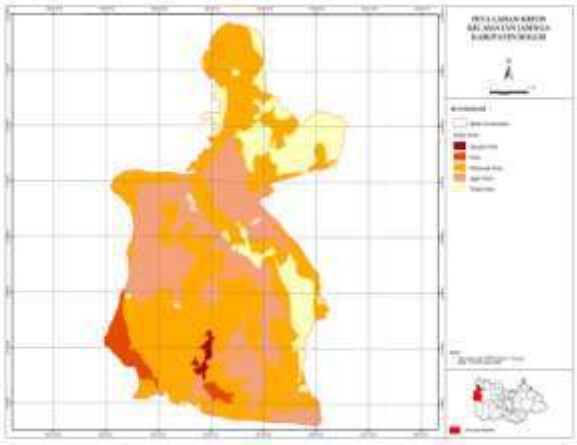
Survei lapang yang dilaksanakan di lapang didasarkan pada sebaran lahan kritis berdasarkan peta tingkat kekritisan lahan yang dibangun oleh Direktorat Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan (DRRL), Departemen Kehutanan. Sebaran luas lahan kritis di empat kecamatan contoh disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas Tingkat kekritisan lahan di Kecamatan Jasinga, Sukaraja, Cileungsi, dan Jonggol

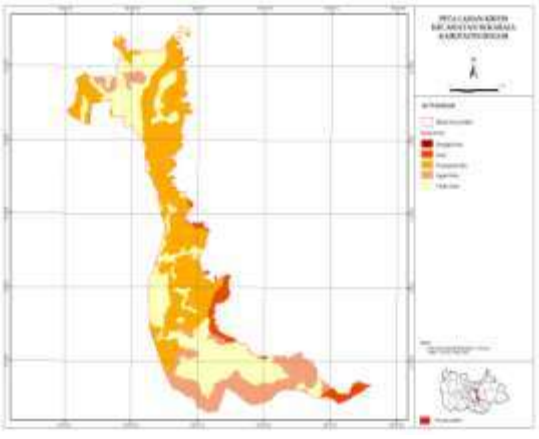
No.	Tingkat Kekritisan	Luas di Kecamatan (ha)			
		Jasinga	Sukaraja	Cileungsi	Jonggol
1	Tidak Kritis	2139,76	1460,0767	2066,2056	2875,12
2	Potensial Kritis	7707,25	1623,1438	4903,8528	4189,54
3	Agak Kritis	4133,74	631,2101	0	3167,15
4	Kritis	460,72	173,2165	0	1404,56
5	Sangat Kritis	95,81	0	0	23,21
Jumlah		14537,28	3887,6471	6970,0584	11659,58

Sumber: Peta Lahan Kritis BPDAS Citarum-Ciliwung Skala 1 : 100.000, Tahun 2009.

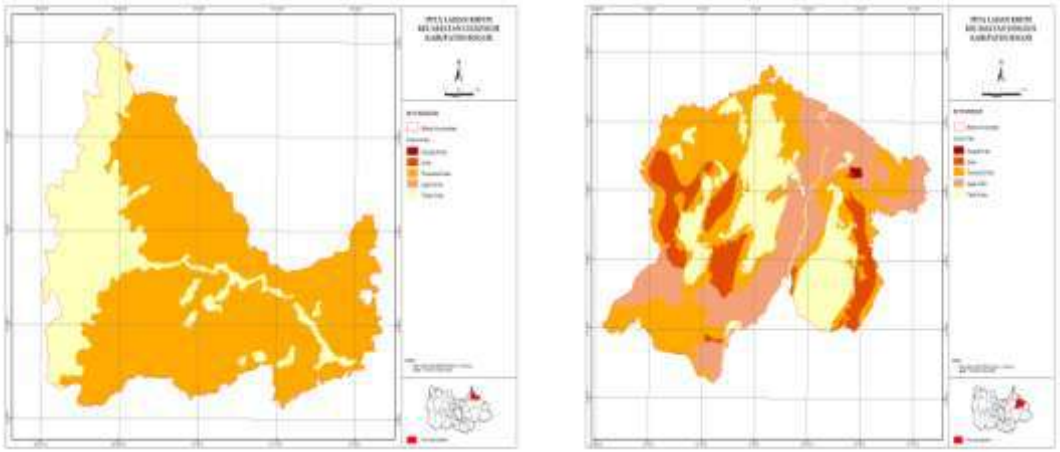
Tabel 2 menunjukkan tidak seluruh kelas tingkat kekritisan bisa ditemukan di lokasi kecamatan contoh. Misalnya di Kecamatan Cileungsi hanya terdapat dua jenis tingkat kekritisan lahan, yaitu tidak kritis dan potensial kritis. Sementara itu wilayah Jasinga dan Jonggol yang lengkap memiliki seluruh kategori tingkat kekritisan, pada tingkat kekrititsan tertentu luasannya relatif kecil, yaitu pada kategori lahan sangat kritis keduanya dengan luas di bawah satu persen. Kekurangan kedua adalah peta tingkat kekritisan dibangun lebih kurang 10 tahun yang lalu. Kondisi terkini sebaran lahan tidak seperti pada saat dibangun peta tersebut. Sebaran spasial peta lahan kritis di empat kecamatan tersebut disajikan pada Gambar 1.



a. Jasinga



b. Sukaraja



c.Cileungsi d. Jonggol

Gambar 2. (a,b,c,d) Sebaran Lahan Kritis di Empat Kecamatan.

Selanjutnya berikut ini akan diuraikan deksripsi karakteristik lahan dari contoh yang diambil selama survei lapang. Deskripsi dipisahkan atas karakteristik fisik dan karakteristik kimia. Deskripsi karakteristik fisik menggambarkan berbagai karakteristik yang diamati selama survei lapang, sedangkan karakteristik kimia merupakan hasil analisis kimia di laboratorium. Diharapkan bahwa penetapan kelas seefisien mungkin bisa dilakukan. Jika memungkinkan proses klasifikasi dapat dilakukan langsung di lapang. Oleh karena itu, preferensi pemanfaatan karakteristik lebih pada karakteristik fisik lahan.

Kondisi fisik lahan lahan di lima tingkat kekritisan lahan diamati melalui kondisi beberapa variabel penting. Sebaran kondisi berbagai karakteristik fisik disajikan pada Tabel 3. Berbagai karakteristik tersebut diuji keragamannya di berbagai tingkat kekritisan. Variabel yang secara signifikan berbeda pada tingkat kepercayaan 95% berdasarkan uji F sebagaimana disajikan pada Tabel 2 adalah kemiringan lereng, batuan permukaan, singkapan batuan, bahan kasar dan kedalaman efektif. Karakteristik fisik lain di luar berbagai variabel yang diuji tersebut adalah variabel-variabel yang teramati secara visual, antara lain topografi, jenis erosi, jenis penggunaan lahan, kondisi vigor tanaman, dan tindakan konservasi di lahan yang diamati.

Tabel 3. Karakteristik Fisik Lahan pada Lima Tingkat Kekritisan

Rataan	Tidak kritis	Potensial kritis	Agak kritis	Kritis	Sangat kritis	Nilai p uji F	
Elevasi (m dpl)	392,5	309,7	356,6	284,5	326,5	0,773	
Kemiringan lereng (%)	5,9	13,0	23,0	26,1	36,4	0,000	**
Tutupan vegetasi (%)	68,5	67,1	64,5	52,9	67,5	0,163	
Batuan permukaan (%)	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	0,000	**
Singkapan batuan (%)	0,0	0,1	0,0	0,2	0,4	0,001	**
Bahan kasar (%)	0,0	0,4	0,0	8,3	40,0	0,000	**
Kedalaman efektif (cm)	114,5	107,5	104,1	53,8	24,2	0,000	**
Resistensi L-A (kg F/cm2)	1,1	1,2	1,3	1,0	2,8	0,306	
Resistensi L-B (kg F/cm2)	2,2	2,9	1,5	1,3	4,0	0,182	

Keterangan: **: nyata pada tingkat kepercayaan 95%

Dari berbagai karakteristik visual tersebut, beberapa variabel penting dan dapat membedakan beberapa tingkat kekritisan adalah topografi, jenis erosi, serta vigor tanaman. Dari sisi topografi lahan kritis dan sangat kritis dominan berada di lahan berbukit dan bergunung sementara lahan tidak kritis berada di lahan datar atau landai. Ditinjau dari jenis erosi yang nampak, maka di lahan tidak kritis tidak terjadi erosi atau jika ada maka hanya erosi permukaan. Sementara itu di lahan potensial dan agak kritis akan ditemukan erosi lembar dan di lahan kritis dan sangat kritis akan ditemukan erosi parit. Vigor tanaman juga secara indikatif dapat menunjukkan tingkat degradasi. Tanaman di lahan kritis umumnya memiliki kondisi vigor buruk atau sangat buruk. Sementara kondisi vigor di lahan tidak kritis umumnya tumbuh baik. Berikutnya pada Tabel 4 disajikan hasil pengujian karakteristik kimia untuk memperkuat proses evaluasi tingkat kekritisan lahan.

Tabel 4. Rataan Karakteristik Kimia Tanah pada Berbagai Tingkat Kekritisan Lahan

Karakteristik Tanah	Satuan	Tidak Kritis	Potensial Kritis	Agak Kritis	Kritis	Sangat Kritis	Nilai P F	Uji
PH-H_2O		4,98	4,83	4,98	5,00	5,37	0,114	
C-Org	%	1,65	2,32	2,13	1,87	1,65	0,331	
Ntotal	%	0,16	0,22	0,20	0,18	0,16	0,323	
P	ppm	4,33	4,38	4,46	4,26	4,82	0,995	
Ca	me/100 Gr	1,61	1,75	2,33	2,44	2,45	0,718	
Mg	me/100 Gr	1,07	1,43	1,23	1,82	1,56	0,198	
K	me/100 Gr	0,25	0,30	0,20	0,34	0,42	0,069	*
Na	me/100 Gr	0,25	0,30	0,25	0,28	0,31	0,345	

Tabel 4. Rataan Karakteristik Kimia Tanah pada Berbagai Tingkat Kekritisan Lahan *(lanjutan)*

Karakteristik Tanah	Satuan	Tidak Kritis	Potensial Kritis	Agak Kritis	Kritis	Sangat Kritis	Nilai P Uji F	
Ktk	me/100 Gr	18,04	18,06	19,30	19,89	15,32	0,609	
Kb	%	19,15	22,04	20,83	26,08	25,55	0,807	
Al_{dd}	me/100 Gr	4,64	6,16	5,43	7,29	1,84	0,039	**
H_{dd}	me/100 Gr	0,35	0,39	0,33	0,34	0,22	0,249	
Pasir Kasar	%	5,75	4,67	3,77	10,76	24,50	0,001	**
Pasir Halus	%	2,76	3,10	2,29	3,85	5,34	0,036	**
Pasir Sangat Halus	%	1,72	1,83	2,57	2,43	3,45	0,519	
Debu	%	26,54	28,45	24,07	28,69	30,84	0,922	
Liat	%	63,23	61,94	67,30	54,27	38,05	0,015	**
Permeabilitas	cm/Jam	8,21	8,54	10,32	3,98	10,42	0,570	

Dari tabel tersebut diketahui berbagai variabel yang secara statistik teruji berbeda pada berbagai tingkat kekritisan lahan adalah Al, pasir kasar, pasir halus, kadar liat. Berikutnya variabel yang signifikan pada tingkat kepercayaan 90% adalah kadar kalium dalam tanah. Karakteristik kimia merupakan kondisi tambahan yang mendukung kenampakan lahan secara fisik.

Berikutnya diidentifikasi rentang nilai berbagai karakteristik dari hasil penarikan contoh. Identifikasi rentang nilai ini dimaksudkan untuk menguji ketangguhan klasifikasi yang dibangun oleh DRLKT. Hasil identifikasi rentang karakteristik fisik disajikan pada Tabel 5 sedangkan untuk karakteristik kimia disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Rentang Nilai Karakteristik Fisik Lahan pada Berbagai Tingkat Kekritisan

Selang	Tidak Kritis	Potensial Kritis	Agak Kritis	Kritis	Sangat Kritis
Elevasi (M Dpl)	107 - 638	80 - 699	94 - 684	90 - 559	139 - 572
Kemiringan Lereng (%)	2 - 15	5 - 36	10 - 44	14 - 51	23 - 49,5
Tutupan Vegetasi (%)	25 - 80	35 - 80	25 - 80	25 - 80	60 - 70
Batuan Permukaan (%)	0 - 0	0 - 5	0 - 5	0 - 100	60 - 100
Singkapan Batuan (%)	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 90	10 - 90
Bahan Kasar (%)	0 - 0	0 - 10	0 - 10	0 - 50	0 - 80
Kedalaman Efektif (Cm)	85 - 120	70 - 120	45 - 120	20 - 100	10 - 50
Resistensi L-A (Kg F/Cm2)	0 - 5,5	0 - 4,5	0 - 7	0 - 5,5	1,1 - 7,5
Resistensi L-B (Kg F/Cm2)	0 - 7,5	0 - 10	0 - 4,5	0 - 7,5	0 - 8

Tabel 6. Rentang Nilai Karakteristik Kimia dan Fisik pada Lima Tingkat Kekritisan Lahan

Karakteristik Tanah	Satuan	Tidak Kritis	Potensial Kritis	Agak Kritis	Kritis	Sangat Kritis
Ph-H_2O		4,40 - 5,40	4,40 - 5,20	4,40 - 5,60	4,40 - 5,90	4,90 - 5,90
C-Org	%	0,08 - 2,71	0,95 - 5,10	0,64 - 3,19	0,71 - 3,11	0,40 - 2,71
Ntotal	%	0,03 - 0,26	0,10 - 0,44	0,06 - 0,29	0,07 - 0,28	0,05 - 0,26
P	ppm	1,90 - 6,80	2,00 - 12,40	2,00 - 9,10	1,70 - 8,90	2,20 - 11,60
Ca	me/100 Gr	0,29 - 5,02	0,75 - 4,80	0,46 - 9,55	1,01 - 6,05	0,87 - 4,43
Mg	me/100 Gr	0,21 - 2,02	0,43 - 2,47	0,27 - 2,98	0,73 - 3,26	0,61 - 2,42
K	me/100 Gr	0,12 - 0,46	0,12 - 0,43	0,14 - 0,28	0,18 - 0,67	0,12 - 0,95
Na	me/100 Gr	0,14 - 0,33	0,20 - 0,46	0,18 - 0,34	0,18 - 0,38	0,17 - 0,51
Ktk	me/100 Gr	10,15 - 29,42	8,72 - 28,59	11,31 - 28,71	13,90 - 31,04	7,68 - 19,60
Kb	%	3,99 - 48,42	0,34 - 58,03	6,14 - 60,23	9,76 - 58,03	11,57 - 44,01
Al_{dd}	me/100 Gr	0,32 - 16,07	0,88 - 16,63	1,18 - 14,06	1,87 - 15,71	0,18 - 2,86
H_{dd}	me/100 Gr	0,23 - 0,62	0,20 - 0,64	0,12 - 0,57	0,08 - 0,60	0,12 - 0,36
Pasir Kasar	%	2,10 - 13,45	1,82 - 11,48	1,53 - 6,76	2,49 - 33,13	1,93 - 55,73
Pasir Halus	%	0,95 - 4,51	1,19 - 6,52	0,69 - 6,21	1,37 - 11,17	2,82 - 7,96
Pasir S. Halus	%	0,60 - 4,85	0,83 - 3,61	0,47 - 12,66	0,52 - 8,91	1,39 - 5,46
Debu	%	2,70 - 47,13	4,15 - 70,57	2,00 - 59,03	13,06 - 56,69	6,08 - 57,84
Liat	%	42,19 - 84,64	22,34 - 87,77	34,38 - 90,01	27,66 - 81,90	16,15 - 68,59
Permeabilitas	cm/Jam	0,39 - 31,03	0,32 - 37,90	0,27 - 36,29	0,59 - 18,91	2,23 - 20,74

Hasil identifikasi kisaran nilai tersebut menunjukkan bahwa rentang nilai baik pada karakteristik kimia maupun karakteristik fisik cenderung berimpitan pada berbagai tingkat kekritisan. Sulit untuk dapat mendapatkan rentang yang bersifat berbeda antar kelas. Dari hasil identifikasi kisaran nilai ini dapat disimpulkan perlu satu klasifikasi yang lebih jelas khususnya untuk dapat menetapkan penciri kelas kekritisan.

Pembentukan Kelas Degradasi Lahan dari Data Lapang dan Identifikasi Keragamannya

Pembentukan kelas degradasi lahan dilakukan dengan memanfaatkan data hasil survei lapang. Data terkoleksi dipisahkan atas karakteristik fisik dan kimia. Berdasarkan karakteristik fisik dan kimia tersebut selanjutnya dibangun tingkat degradasi dengan metode gerombol. Penggerombolan dilakukan dengan membentuk 5, 4, 3, dan 2 kelas. Hasil analisis terhadap pembentukan kelas tesebut menghasilkan keragaman dalam kelas yang diharapkan lebih homogen. Ringkasan hasil identifikasi koefisien keragaman dari kelas homogen karakteristik fisik disajikan pada Tabel 7. Hasil identifikasi keragaman di berbagai kelas tersebut mampu mengidentifikasi karakteristik penciri penting dengan ragam kecil

(homogen) untuk setiap kelas. Variabel yang berperan penting dengan menghasilkan koefisien keragaman minimum (<200) dalam setiap kelas adalah sebagai berikut :

- Lima kelas: persentase batuan permukaan.
- Empat kelas: persentase batuan di permukaan dan resistensi lapisan B.
- Tiga kelas: persentase batuan di permukaan dan resistensi lapisan B.
- Dua kelas : persentase batuan di permukaan dan persentase bahan kasar.

Berikutnya berbagai variabel kimia dalam pembentukan kelas homogen digunakan untuk mendukung hasil analisis terhadap karakteristik fisik. Ringkasan hasil pengujian koefisien keragaman karaketristik kimia pada berbagai kelas homogen tersebut disajikan pada Tabel 8.

Dari Tabel 8 diketahui beberapa variabel kimia yang memiliki koefisien keragaman relatif kecil mendukung terbangunnya kelas homogen dan konsisten memiliki koefisien keragaman relatif kecil (<200%) di dalam kelas pada berbagai jumlah kelas: (a) Lima kelas: pH H_2O, Ca, Mg, KTK, dan KB; (b) Empat kelas: Ca, Mg, dan KTK, (c) Tiga kelas: Ca, Mg, KTK, KB, $Al_{dd.}$, (d) Dua kelas: Ca, KB, Al_{dd} dan $H_{dd.}$ Secara lebih spesifik maka dapat disimpulkan variabel karakteristik kimia lahan yang secara konsisten membedakan kelas secara cukup baik adalah Ca, Mg, KTK dan KB. Keempat variabel tersebut cukup baik untuk menjadi pembeda kelas.

Tabel 7. Perbandingan Koefisien Keragaman Karakteristik Fisik Lahan pada Klasifikasi Lima, Empat, Tiga dan Dua Kelas

Karakteristik	Lima Kelas					Empat Kelas				Tiga Kelas			Dua Kelas	
	Kelas-1	Kelas-2	Kelas-3	Kelas-4	Kelas-5	Kelas-1	Kelas-2	Kelas-3	Kelas-4	Kelas-1	Kelas-2	Kelas-3	Kelas-1	Kelas-2
Elevasi (M Dpl)	22%	99%	208%	295%	96%	208%	70%	209%	295%	62%	208%	128%	1549%	208%
Kemiringan Lereng (%)	2793%	235%	33%	393%	113%	33%	434%	222%	393%	309%	33%	286%	293%	33%
Tutupan Vegetasi (%)	38%	346%	91%	10%	31%	91%	42%	251%	10%	42%	91%	275%	2627%	91%
Batuan Permukaan (%)	2%	76%	30%	43%	152%	30%	73%	72%	43%	64%	30%	71%	67%	30%
Singkapan Batuan (%)	12%	15%	83%	32%	455%	83%	1610%	14%	32%	759%	83%	20%	214%	83%
Bahan Kasar (%)	0%	0%	126%	566%	31%	126%	20%	0%	566%	18%	126%	246%	154%	126%
Kedlaman Efektif (Cm)	54%	160%	22%	793%	209%	22%	563%	134%	793%	303%	22%	348%	324%	22%
Resistensi Lap-A	45640%	52%	552%	37%	54%	552%	130%	54%	37%	149%	552%	27%	6664%	552%
Resistensi Lap-B	645%	120%	197%	38%	105%	197%	123%	96%	38%	195%	197%	90%	1101%	197%

Keterangan: Yang dicetak merah, ragam variabel dalam setiap kelas kurang atau sama dengan 200%; Lap-A: Lapisan Permukaan; Lap-B: Lapisan Bawah Permukaan/*sub-surface*

Tabel 8. Perbandingan Koefisien Keragaman Karakteristik Kimia pada Klasifikasi Lima, Empat, Tiga dan Dua Kelas

Karakteristik	**Lima Kelas**					**Empat Kelas**				**Tiga Kelas**			**Dua Kelas**	
	K1	**K2**	**K3**	**K4**	**K5**	**K1**	**K2**	**K3**	**K4**	**K1**	**K2**	**K3**	**K1**	**K2**
pH-H2O	76%	321%	40%	29%	63%	38%	276%	822%	64%	38%	1979%	64%	171%	66%
C-org (%)	213%	154%	580%	103%	152%	131%	511%	158%	480%	131%	235%	902%	2166%	630%
Ntotal	193%	153%	576%	99%	150%	123%	496%	160%	404%	123%	232%	781%	2082%	614%
P (ppm)	349%	260%	126%	120%	63%	809%	1031%	1734%	8096%	809%	2341%	565%	1123%	512%
Ca (me/100 gr)	94%	76%	102%	180%	15%	157%	110%	61%	88%	157%	67%	94%	88%	100%
Mg (me/100 gr)	84%	100%	140%	104%	23%	151%	127%	77%	90%	151%	86%	97%	334%	105%
K (me/100 gr)	1644%	95%	90%	343%	149%	282%	138%	59%	196%	282%	81%	218%	292%	222%
Na (me/100 gr)	140%	165%	201%	390%	106%	418%	270%	99%	126%	418%	150%	156%	329%	163%
KTK (me/100 gr)	145%	72%	172%	50%	150%	64%	122%	134%	134%	64%	119%	150%	562%	136%
KB (%)	42%	162%	152%	77%	22%	73%	251%	98%	57%	73%	125%	67%	87%	67%
ALdd (me/100 gr)	212%	13%	0%	43%	10%	47%	494%	8%	133%	47%	13%	121%	36%	137%
Hdd (me/100 gr)	40%	209%	10%	42%	55%	42%	239%	690%	35%	42%	506%	33%	185%	36%
P_kasar (%)	27%	9428%	93%	467%	45%	376%	202%	41%	943%	376%	1903%	599%	1089%	659%
P_halus (%)	88%	236%	37%	5496%	402%	10979%	232%	161%	628%	10979%	359%	425%	507%	402%
P_Shalus (%)	133%	88370%	68%	168%	337%	150%	212%	102%	480%	150%	9234%	418%	738%	331%
Debu (%)	136%	1101%	2843%	152%	68%	170%	265%	127%	148%	170%	556%	204%	379%	213%
Liat (%)	303%	2471%	46%	154%	57%	153%	53%	76%	167%	153%	543%	156%	353%	161%
Permeabilitas (cm/jam)	108%	276%	557%	10%	125%	33%	24939%	159%	257%	33%	209%	230%	937%	204%

Variabel Penciri Kelas Homogen Degradasi Lahan

Identifikasi variabel penciri degradasi lahan dilakukan melalui pengujian berbagai karakteristik fisik dan kimia dengan menggunakan metode Diskriminan. Ringkasan pengujian diskriminan terhadap karakteristik fisik disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Karakteristik Fisik Penciri Kelas Hasil Pengujian Analisis Diskriminan pada Berbagai Jumlah Kelas

Karakteristik	Jumlah Kelas			
	Lima	Empat	Tiga	Dua
Elevasi (m dpl)	√√√	√√√	√√√	-
Kemiringan Lereng (%)	√	√	-	√
Tutupan Vegetasi (%)	√√√	√√√	√√	-
Batuan Permukaan (%)	√√√	√√√	√√√	√√√
Singkapan Batuan (%)	√√√	√√√	√√√	-
Bahan Kasar (%)	√√	√√	√√	√√√
Kedalaman Efektif (Cm)	√√√	√	-	√
Resistensi Lap-A (KgF/Cm^2)	√√√	√√√	√√√	√√√
Resistensi Lap-B (KgF/Cm^2)	√√√	√√√	√√√	√√√

Keterangan: Lap-A: Lapisan Permukaan; Lap-B: Lapisan Bawah Permukaan/*sub-surface;* √√√ = signifikan pada tingkat kepercayaan 95%; √√=signifikan pada tingkat kepercayaan 90%; √=signifikan pada tingkat kepercayaan 80%

Tabel 9 menunjukkan beberapa variabel karakteristik fisik lahan yang secara konsisten membedakan kelas secara cukup baik adalah persentase bahan kasar dan persentase batuan di permukaan, dan resitensi tanah. Variabel tersebut cukup meyakinkan untuk menjadi pembeda kelas. Beberapa variabel lain yang konsisten penting pada berbagai pengujian adalah tutupan vegetasi, singkapan batuan, kedalaman efektif tanah, elevasi, dan kemiringan lereng. Sementara penciri karakteristik kimia hasil uji diskriminan disajikan di Tabel 10.

Tabel 10. Karakteristik Kimia Penciri dari Hasil Pengujian Diskriminan pada Berbagai Jumlah Kelas

Variabel	Lima kelas	Empat kelas	Tiga kelas	Dua kelas
pH-H_2O	√	-	-	-
C-org (%)	-	√√√	√√	-
Ntotal	√√√	-	-	-
P (ppm)	√√√	√	√√	√√
Ca (me/100 gr)	-	√	-	-
Mg (me/100 gr)	√√√	-	-	-
K (me/100 gr)	√√√	√	-	-
Na (me/100 gr)	-	-	-	√√√
KTK (me/100 gr)	√√√	√	√√√	-
KB (%)	√√√	√	√√√	√√√
Al_{dd} (me/100 gr)	√√√	√√	√√√	√√

Tabel 10. Karakteristik Kimia Penciri dari Hasil Pengujian Diskriminan pada Berbagai Jumlah Kelas *(lanjutan)*

Variabel	Lima kelas	Empat kelas	Tiga kelas	Dua kelas
H_{dd} (me/100 gr)	√√√	√√√	√√√	√√√
Pasir kasar (%)	√√√	-	-	-
Pasir halus (%)	√√√	-	-	-
Pasir sangat halus (%)	√√√	-	-	-
Debu (%)	√√√	-	-	-
Liat (%)	√√√	√√√	-	-
Permeabilitas (cm/jam)	√√√	√√√	√√√	-

Keterangan : tanda √ menunjukkan variabel tersebut signifikan pada tingkat kepercayaan 95%

Hasil pengujian secara umum menunjukkan variabel karakteristik kimia lahan yang secara konsisten berperan dalam menentukan kelas homogen baik pada jumlah kelas lima, empat, tiga dan dua adalah variabel H_{dd} dan Al_{dd}. Sementara itu terdapat dua variabel tambahan yang konsisten pada tiga jumlah kelas berbeda yaitu variabel kejenuhan basa (%), permeabilitas (cm/jam) dan kadar P. Variabel yang konsisten pada dua jumlah kelas berbeda adalah variabel KTK, liat dan C-organik.

Penetapan Variabel dan Kisaran Nilai Kriteria Kelas Degradasi Lahan

Penetapan variabel penentu kelas degradasi lahan dan kisaran nilai kriteria degradasi didasarkan pada berbagai pengujian yang telah dilakukan sebelumnya. Berdasakan pengujian tingkat kekritisan yang dibangun oleh DRLKT ditemukan kondisi bahwa kisaran nilai berbagai karakteristik yang teramati relatif berimpit antar karakteristik. Tidak ada pembeda yang memiliki kisaran tidak berimpit dan benar-benar berbeda (*distinct*). Demikian juga hasil pengamatan dan analisis terhadap data penarikan contoh menunjukkan keragaman dalam kelas homogen tidak terlalu homogen. Oleh karena itu diperlukan dukungan teoritis dan kerangka pikir logis untuk menyimpulkan hasil analisis yang diperoleh.

Evaluasi degradasi lahan dapat menggunakan dasar-dasar sistematika dan cara-cara berfikir dalam inventarisasi dan penyusunan kriteria seperti untuk evaluasi erosi air. Apabila dipadankan, evaluasi ancaman degradasi dengan ancaman erosi lahan, dikenal ada ancaman tingkat makro (regional), meso (potensi lokal), dan mikro (potensi lapangan setempat). Menurut Arsyad (2010) tingkat evaluasi lahan tingkat tinjau digunakan untuk perencanaan umum

penggunaan lahan dan penetapan areal yang akan dilakukan studi lebih dalam, sedangkan tingkat semi-detil digunakan untuk studi kelayakan dan rencana teknis, sehingga hasil-hasil yang dicapai dari penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk evaluasi perencanaan makro dan meso. Untuk perencanaan tingkat mikro atau detil (perencanaan pelaksanaan pengembangan dan rencana operasional) masih memerlukan penelitian-penelitian lanjutan berikutnya untuk menentukan parameter-parameter penentu yang lebih detil lagi dengan hasil perencanaan pada skala peta 1 : 10.000, 1 : 5000 atau pada 1: 2000.

Untuk memudahkan penetapan tingkat degradasi di lapang, evaluator dapat menggunakan karakteristik fisik lahan untuk tingkat tinjau yaitu: kemiringan lereng, kedalaman efektif, batuan permukaan, bahan kasar, dan resistensi tanah; sedangkan untuk tingkat semi-detil yaitu: kemiringan lereng, kedalaman efektif, batuan permukaan, bahan kasar, resistensi tanah, tutupan vegetasi, dan singkapan batuan. Meskipun elevasi muncul sebagai variabel, elevasi tidak digunakan sebagai variabel karena dipertimbangkan tidak terkait secara langsung terhadap tingkat degradasi lahan. Hasil penelitian ini telah mendapatkan kisaran nilai yang digunakan sebagai kriteria dengan menggunakan selang kepercayaan berkisar dari 80% - 95%. Untuk tingkat Tinjau didapatkan dua kelas tingkat degradasi yaitu kelas: Terdegradasi dan Tidak terdegradasi dan tingkat Semi-detil didapatkan tiga kelas degradasi yaitu: Terdegradasi berat, Terdegradasi sedang dan Tidak terdegradasi. Kriteria variabel dan kisarannya untuk tingkat tinjau dan semi-detil dapat dilihat pada Tabel 11 dan 12.

Tabel 11. Variabel dan Kisaran Nilai Kelas Degradasi Lahan pada Tingkat Tinjau

Tingkat studi	Variabel Lahan	Tidak Terdegradasi	Terdegradasi
Tinjau	Kemiringan lereng (%)	< 30	≥ 30
	Kedalaman Efektif (cm)	> 50	≤ 50
	Batuan permukaan (%)	< 40	≥ 40
	Bahan kasar (%)	< 50	≥ 50
	Resistensi tanah (KgF/cm^2)	<7,5	≥ 7,5

Tabel 12. Variabel dan Kisaran Nilai Kelas Degradasi Lahan pada Tingkat Semi-Detil

Tingkat Studi	Variabel	Tidak terdegradasi	Terdegradasi sedang	Terdegradasi berat
Semi-detil	Kemiringan lereng (%)	< 30	30 - 45	> 45
	Kedalaman efektif (cm)	> 50	25 - 50	< 25
	Batuan di permukaan (%)	< 40	40-60	> 60
	Bahan kasar (%)	< 50	≥ 50 - 75	> 75
	Resistensi tanah (kgF/cm^2)	< 7,5	7,5 - 10	> 10
	Tutupan vegetasi (%)	> 60	40 - 60	< 40
	Singkapan batuan (%)	< 5	5-20	> 20

KESIMPULAN

1. Dari berbagai karakteristik visual tersebut, beberapa variabel fisik lahan penting dan dapat membedakan beberapa tingkat kekritisan adalah topografi, jenis erosi, serta vigor tanaman. Secara statistik variabel teruji berbeda pada berbagai tingkat kekritisan lahan adalah Al, pasir kasar, pasir halus, kadar liat. Berikutnya variabel yang signifikan pada tingkat kepercayaan 90% adalah kadar kalium dalam tanah. Namun demikian secara keseluruhan variabel tersebut tidak secara baik membedakan berbagai level kekritisan namun hanya beberapa level saja yang mampu dibedakan.
2. Kisaran nilai variabel baik pada karakteristik kimia maupun karakteristik fisik penentuan kekritisan lahan oleh Direktorat Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan DEPHUT cenderung berimpitan pada berbagai tingkat kekritisan, sehingga sulit dibedakan antar berbagai kelas kekritisan lahan.
3. Hasil identifikasi keragaman di berbagai kelas homogen yang dibangun mengidentifikasi karakteristik penciri penting dengan ragam kecil (homogen) untuk setiap kelas dengan koefisien keragaman minimum (<200) dalam setiap kelas adalah persentase batuan di permukaan, bahan kasar, resistensi tanah, Ca, Mg, KTK, KB, $Al_{dd.}$.
4. Beberapa variabel karakteristik fisik lahan yang secara konsisten membedakan kelas secara cukup baik dari hasil uji diskriminan adalah persentase bahan kasar, persentase batuan di permukaan, resitensi tanah, tutupan vegetasi, singkapan batuan, kedalaman efektif tanah, elevasi, dan kemiringan lereng. Sementara itu, variabel sifat fisik dan kimia tanah yang teruji dapat menjadi pembeda adalah H_{dd} dan Al_{dd}, kejenuhan basa (%), kadar P (ppm), KTK, liat, C-organik dan permeabilitas (cm/jam).

5. Untuk memudahkan pengamatan lapang, penetapan tingkat degradasi di lapang, evaluator dapat menggunakan karakteristik fisik lahan untuk tingkat tinjau yaitu: kemiringan lereng, kedalaman efektif, batuan permukaan, bahan kasar, dan resistensi tanah; sedangkan untuk tingkat semi-detil yaitu: kemiringan lereng, kedalaman efektif, batuan permukaan, bahan kasar, resistensi tanah, tutupan vegetasi, dan singkapan batuan.
6. Untuk tingkat Tinjau didapatkan dua kelas tingkat degradasi yaitu kelas: Terdegradasi dan Tidak terdegradasi dan tingkat Semi-detil didapatkan tiga kelas degradasi yaitu: Terdegradasi berat, Terdegradasi sedang dan Tidak terdegradasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih dan penghargaan disampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang membiayai kegiatan penelitian ini berdasarkan Surat Perjanjian Pelaksanaan Pekerjaan Hibah Strategis Nasional Tahun Anggaran 2010 dengan Sesuai Kontrak No. 550/SP2H/PP/DP2M/VII/2010, tanggal 24 Juli 2010.

DAFTAR PUSTAKA

Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press. Bogor. Hal. 323-324.

[BAPPEDA] Badan Perencanaan Pembungunan Daerah Kabupaten Bogor. 2007. *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bogor*. BAPPEDA Kabupaten Bogor.

Dariah, A., Rahman, A., dan Kurnia, U. 2004. Erosi dan Degradasi Lahan Kering di Indonesia. *Dalam*: Kurnia, U., Rachman, A., dan Dariah, A. (Ed.). *Teknologi Konservasi Tanah Pada Lahan Berlereng*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor. Hal. 1-8.

Dinas Pertanian dan Kehutanan Kabupaten Bogor. 2008. *Monografi pertanian dan Kehutanan Tahun 2008*. Dinas Pertanian dan Kehutanan Kabupaten Bogor.

Fauzi, AI., Zauyah, S., Stoopps, G. 2004. Karakteristik mikromorfologi tanah-tanah volkanik di daerah Banten. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 22:1-14.

Firmansyah, MA. 2003. Resiliensi tanah terdegradasi. *Makalah Pengantar Falsafah Sain*. Bogor: IPB.

Hardjowigeno, S. 2003. *Ilmu Tanah*. Jakarta: CV. AKADEMIKA PRESSINDO.

Hal. 148.

Kurnia, U. Dariah, A., dan Talaouhu, S.A. 2007. Penyusunan Bakumutu dan Teknologi Lahan Terdegradasi. *Laporan Akhir Tahun*. Balai Penelitian Tanah, Bogor. 65 hal.

Lal, R., Blum, W.H., Valentine, C., and Stewart, B.A. 1998. *Methods for Assesment of Soil Degradation*. New York: CRC Press.

Morrison, FD. 1990. *Multivariate Statistical Methods*. Third Edition. *In*: Weinstein, RA, Maisel, J (Editors). New York: McGraw-Hill Publishing. 481*p*.

Prasetyo, BH., Suharta, N. 2004. Properties low activity clay soils from South Kalimantan. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 22:26-39.

Priyanto. 2007. Penerapan analisis diskriminan dalam pembedaan kelas umur tegakan pinus. *JMHT* XIII. 3:155-165.

Saba, DS. 2001. Afghanistan: Environmental degradation in fragile ecological setting. *Int. J Sustain. Dev. World Ecol*. 8: 279-289.

Simamora, B. 2005. *Analisis Multivariat Pemasaran.* PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. Hal. 143-232.

Singer, MJ and Munns, DN. 2006. Soil Degradation. Sixth Edition. *In*: Yarnell D, Rego M, Wolf AB (Editors). *Soils An Introduction*. Pearson Prentice Hall. *pp*.354-384.

Sitorus, S.R.P. 2009. Kualitas Degradasi dan Rehabilitasi Lahan. Edisi Ketiga. Sekolah Pascasarjana. IPB. Bogor. Hal. 42.

Soemartini. 2006. *Principle Component Analysis* (PCA) sebagai Salah Satu Metode untuk Mengatasi Masalah Multikolinearitas. Jurusan Statistika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Padjajaran Bandung. 20 hal.

Syam A. 2003. Sistem pengelolaan lahan kering di Daerah Aliran Sungai Bagian Hulu. *J Litbang Pertanian*. 22(4): 162-171.

Tan, KH. 2009. *Environmental Soil Science.* Third Edition. CRC Press. *pp*.324-332.

Usman, H dan Akbar, PS. 2008. *Pengantar Statistika.* Edisi Kedua. Jakarta: PT. Bumi Aksara. Hal. 197-227.

KECERNAAN, FERMENTASI, DAN PERFORMA PRODUKSI SAPI POTONG LOKAL YANG DIBERI EKSTRAK LERAK (*Sapindus rarak*) PADA RANSUM HIJAUAN TINGGI

(Digestibility, Rumen Fermentation and Performa of Local Beef Cattle Suplemented by Lerak (*Sapindus rarak*) Extract on High Forage Ration**)**

Sri Suharti[1)], Dewi Apri Astuti[1)], Elizabeth Wina[2)]
[1)]Dep. Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan IPB
[2)]Balai Penelitian Ternak, Ciawi, Departemen Pertanian.

ABSTRAK

Penelitian dilakukan untuk mengevaluasi pemanfaatan ekstrak keseluruhan buah lerak (*Sapindus rarak)* untuk memperbaiki kecernaan nutrien, fermentabilitas dan performa sapi potong pada ransum hijauan tinggi. Penelitian menggunakan sapi potong lokal sebanyak 12 ekor dan ransum yang diberikan berupaa hijauan:konsentrat dengan rasio 70:30. Suplementasi ekstrak lerak dilakukan dengan 3 level pemberian yaitu 0, 100 dan 200 mg/kg bobot badan (BB). Paramater yang diukur adalah kecernaan nutrien, profil *volatile fatty acid* (VFA), konsentrasi NH_3, konsumsi pakan dan pertambahan bobot badan harian (PBBH) sapi potong selama 90 hari percobaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suplementasi ekstrak lerak sampai level 200 mg/kg BB tidak mempengaruhi kecernaan nutrien. Produksi total VFA dan proporsi propionat meningkat ($P<0,05$) dan rasio asetat:propionat menurun ($P<0,05$), sementara konsentrasi NH_3 cenderung turun dengan suplementasi ekstrak lerak. Konsumsi pakan dan PBBH tidak nyata meningkat dengan pemberian ekstrak lerak, namun pada level 200 mg/kg BB dapat memperbaiki PBBH sebesar 12,5% dibanding perlakuan kontrol.

Kata kunci : Kecernaan, fermentasi rumen, *Sapindus rarak*, pertambahan bobot badan harian, hijauan tinggi.

ABSTRACT

This research was aimed to investigate the utilization of whole lerak extract to improve the nutrient digestibility, fermentation, and performance of beef cattle fed with high forage based ration. Experimental diet composed of forage (70%) and concentrate (30%). The *in vivo* study was conducted using 12 local beef cattle. Three different levels of lerak extract of 0, 100 and 200 mg/kg body weight (BW) were added to the diet. Parameter measured were nutrient digestibility, volatile fatty acid (VFA) profile, NH_3 concentration, feed intake and daily gain of beef cattle during 90 days of feeding trial. The addition of lerak extract up to level 200 mg/Kg BW did not affect nutrients digestibilities. Total VFA and propionate proportion increased ($P<0.05$) and ratio of acetate:propionate decreased ($P<0.05$) with the addition of extract lerak. Concentration of rumen NH_3 tended to decrease. There was no significant difference on feed intake and daily gain of local beef cattle fed high forage ration with addition of lerak extract at level up to 200 mg/kg BW, but daily gain tend to increase up to 12,5% compared to the control treatment.

Keywords : Digestibility, rumen fermentation, *Sapindus rarak*, daily gain, high forage ration.

PENDAHULUAN

Performa produksi ternak sapi potong lokal di Indonesia masih relatif rendah. Salah satunya dikarenakan para peternak rakyat masih memberikan ransum yang berbasis hijauan tinggi. Hal ini berbeda dengan kondisi peternakan sapi potong komersial yang memberikan pakan berbasis konsentrat (50%-90%). Penggunaan hijauan tinggi yang rendah kualitasnya dapat menyebabkan kekurangan nutrien terutama protein/nitrogen. Teknologi defaunasi dapat dilakukan untuk menekan pertumbuhan protozoa dan meningkatkan suplai protein mikroba bagi ternak.

Esktrak lerak (*Sapindus rarak*) mengandung senyawa aktif saponin yang dapat digunakan sebagai agen defaunasi (Cheeke 2000). Dalam rangka mengevaluasi efektivitas saponin ekstrak lerak dalam memodifikasi fermentasi mikroba rumen, maka perlu penelitian yang lebih komprehensif baik secara *in vitro* maupun *in vivo*. Pada kajian *in vitro,* telah dievaluasi pengaruh saponin ekstrak lerak dengan konsentrasi berbeda terhadap parameter kecernaan yang meliputi kecernaan bahan kering (KCBK), kecernaan bahan organik (KCBO), *volatile fatty acid* (VFA) total dan parsial, amonia (NH_3), produksi gas dan dinamika populasi bakteri rumen secara kuantitatif dengan *real time* PCR.

Berdasarkan gambaran dari proporsi molar VFA, penambahan ekstrak asetat:propionat. Populasi protozoa menurun dengan penambahan ekstrak lerak. Penggunaan ekstrak lerak dapat meningkatkan populasi bakteri *P. ruminicola* yang merupakan bakteri penghasil suksinat dan propionat dalam sistem rumen. Hasil penelitian *in vitro* tersebut perlu dilanjutkan dengan penelitian *in vivo* untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan ekstrak lerak pada kecernaan nutrien dan profil VFA sebagai hasil fermentais bakteri rumen. Evaluasi lerak dalam bentuk tepung cenderung menurunkan konsumsi dan mengganggu profil darah putih yang diduga karena senyawa-senyawa lain dalam tepung lerak. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi penggunaan keseluruhan buah lerak yang diekstraksi dengan metanol terhadap kecernaan, fermentasi dan performa sapi potong yang mendapat ransum hijauan tingi.

Penelitian ini bertujuan untuk : (1) menganalisis kecernaan nutrien seperti bahan kering, bahan organik, protein kasar dan serat kasar dengan metode koleksi

total, (2) mengevaluasi karakteristik fermentasi rumen sapi potong lokal yang mendapat ekstrak lerak

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 6 bulan di Laboratorium Lapang dan Laboratorium Biokimia, Fisiologi dan Mikrobiologi Nutrisi, Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan Fakultas Peternakan IPB. Analisis hematologi darah dilaksanakan di Laboratorium Fisiologi dan Farmakologi FKH IPB.

Ternak dan Perlakuan

Penelitian menggunakan 12 ekor sapi potong PO dengan bobot badan awal 187.5±13 kg yang siap digemukkan dan dipelihara dalam kandang individu. Hijauan yang digunakan adalah rumput lapang di sekitar lokasi kandang Fakultas Peternakan IPB, sedangkan konsentrat merupakan hasil formula dan produksi sendiri (self mixing). Bahan pakan penyusun pakan konsentrat terdiri dari bungkil kedelai (6%), bungkil kelapa (30%), onggok (18.5%), pollard (35%), molases (5%), $CaCO_3$ (3%), DCP (0.5%), NaCl (0.5%), premix (0.5%) dan urea (1%). Komposisi nutrien ransum perlakuan disajikan pada Tabel 1. Rasio hijauan dan konsentrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 70:30 (BK).

Tabel 1. Komposisi nutrien ransum perlakuan *in vivo*

Nutrien	Rumput (R)	Konsentrat (K)	Ransum total (R:K=70:30)
	----------% Bahan Kering ----------		
Abu	11.11	13.09	11.70
Protein kasar (PK)	10.20	20.05	13.16
Serat kasar (SK)	40.12	21.42	34.51
Lemak kasar (LK)	0.45	3.14	1.26
BETN	38.12	42.50	39.43
Kalsium	0.38	1.88	0.83
Fosfor	0.14	0.84	0.35
TDN	46.64	65.38	51.96

Keterangan : Berdasarkan analisis yang dilakukan di Laboratorium Ilmu dan Teknologi Pakan, Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan IPB (2009). TDN=Total digestible nutrien = $92.64-3.338(SK)-0.945(LK) - 0.762(BETN) + 1.115(PK) + 0.031(SK)^2-0.133(LK)^2+0.036(SK)(BETN)+ 0.207(LK)(BETN) + 0.100(LK)(PK)-0.022(LK)^2(PK)$ (Hartadi *et al*., 1980)

Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok lengkap dengan 3 perlakuan dan 4 ulangan. Adapun perlakuan yang digunakan adalah:

P1 = Ransum + ekstrak lerak 0 mg (kontrol negatif)

P2 = Ransum + ekstrak lerak 100 mg/kg bobot badan (setara 80 mg saponin)

P3 = Ransum + ekstrak lerak 200 mg/kg bobot badan (setara 160 mg saponin)

Penggunaan ekstrak lerak sebesar 100 mg/kg bobot badan berdasarkan hasil uji terbaik *in vitro* sebelumnya yang berpengaruh positif terhadap produksi propionat dan populasi bakteri rumen. Hasil serangkaian uji *in vitro* (tahap 2) yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pada level 0.8 mg/ml ekstrak lerak paling efektif memperbaiki fermentasi rumen pada rasio hijauan:konsentrat =70:30. Apabila diasumsikan volume rumen sebesar 10-15% (rataan 12.5%) dari bobot badan, maka level 0.8 mg/ml volume rumen setara dengan 100 mg/Kg bobot badan. Level 200 mg/kg merupakan taraf 2 kali lipatnya dengan pertimbangan laju alir pakan pada sistem metabolisme hidup.

Penyusunan formula ransum didasarkan pada standar kebutuhan ternak sapi lokal (Kearl 1984) dengan kebutuhan nutrien protein kasar (PK) = 13%. Total bahan kering ransum yang diberikan sebesar 2.8-2.9% bobot badan. Pemberian pakan dilakukan selama 90 hari. Parameter yang akan diukur adalah kecernaan nutrien (BK, BO, PK, SK dan LK) serta profil VFA rumen.

Pengambilan Sampel dan Analisis

Kecernaan nutrien pakan dilakukan mengunakan teknik koleksi total feses selama 5 hari berturut-turut di pertengahan penelitian. Sampel feses sebanyak 10% dari total feses diambil dari setiap perlakuan untuk dianalisis kadar nutriennya yang meliputi bahan kering, bahan organik, serat kasar, protein kasar, dan lemak kasar.

Pengambilan sampel cairan rumen dilakukan melalui mulut menggunakan *stomach tube* yang dihubungkan dengan pompa vakum. Cairan rumen diambil 4 jam setelah makan pada hari ke-30,60 dan 90 perlakuan. Sampel cairan rumen kemudian disaring menggunakan kain berlapis dan supernatan yang diperoleh digunakan untuk analisis profil VFA. Analisis profil VFA yang meliputi asetat, propionat, butirat dan valerat dilakukan menggunakan Gas Chromatografi (GC) yang dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Ternak, Bogor.

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan ANOVA (analysis of variance). Apabila dari hasil pengamatan parameter yang di ukur terjadi perbedaan rataan antar perlakuan, maka dilanjutkan dengan uji Duncan (Mattjik & Sumertajaya 2002).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Ekstrak Lerak Terhadap Konsumsi dan Kecernaan Nutrien

Pemberian ekstrak lerak sampai dengan level 200 mg/kg BB pada sapi potong lokal yang mendapat ransum berbasis rumput tinggi secara keseluruhan tidak mempengaruhi kecernaan nutrien dibandingkan perlakuan kontrol (Tabel 2).

Tabel 2. Konsumsi dan Kecernaan nutrienpada sapi potong yang mendapat berbagai level ekstrak lerak dalam ransum

Parameter	Level ekstrak lerak (mg/kg bobot badan)			
	0	100	200	SEM
Kecernaan (%)				
• Bahan Kering (BK)	58.2	53.5	54.9	1.88
• Bahan Organik (BO)	62.9	59.4	59.7	1.05
• Protein Kasar (PK)	73.4	71.4	71.1	0.84
• Serat Kasar (SK)	75.9	74.0	74.6	1.08
• Lemak Kasar (LK)	44.1	53.6	40.1	3.99

Perubahan kecernaan yang cenderung menurun setelah pemberian ekstrak lerak mungkin dikarenakan kandungan saponin. Pemberian bahan mengandung saponin pada ternak ruminansia dapat menurunkan jumlah maupun aktivitas beberapa bakteri selulolitik. Hal tersebut diduga dapat menyebabkan kecernaan serat pakan menurun, terutama pada ransum berbasis hijauan tinggi. Abreu *et al*. (2004) melaporkan bahwa suplementasi buah *Sapindus saponaria* (12% saponin) sebesar 8 g/kg $BB^{0.75}$ secara *intraruminal* meningkatkan konsumsi bahan organik sebsar 14%, tetapi tidak berpengaruh pada konsumsi protein kasar dan konsentrasi amonia rumen atau pada kecernaan bahan organik dan nitrogen. Kecernaan ADF menurun 10%, demikian juga rasio asetat:propionat juga menurun.

Namun, produksi VFA total dan proporsi propionat meningkat ($P<0.05$) serta menurunkan ($P<0.05$) rasio asetat:propionat dengan pemberian ekstrak lerak 200 mg/kg BB (Tabel 3).

Tabel 3. Produksi Total dan Profil VFA pada Sapi Potong yang Mendapat Berbagai Level Ekstrak dalam Ransum

Parameter	Level ekstrak lerak (mg/kg bobot badan)			
	0	100	200	SEM
Total VFA(mM)	84.87[b]	123.54[a]	111.57[a]	5.87
Proporsional VFA(% total VFA)				
• Asetat	66.77	64.88	65.14	0.46
• Propionat	16.83[b]	18.83[a]	19.07[a]	0.35
• Isobutirat	2.29	2.38	2.58	0.13
• Butirat	11.92	11.45	10.87	0.29
• Isovalerat	1.53	1.48	1.38	0.06
• Valerat	0.67	0.98	0.96	0.09
• Rasio Asetat:Propionat (A:P)	3.97[b]	3.45[a]	3.41[a]	0.09

Superskrip berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan ($P<0.05$)

Peningkatan produksi VFA total dan proporsi propionat pada kondisi kecernaan yang menurun dengan pemberian ekstrak lerak, menunjukkan adanya peningkatan efisiensi fermentasi oleh mikroba rumen. Selain itu, ekstrak lerak juga dapat memodifikasi aktivitas mikroba rumen dengan mengarahkan pembentukan propionat dan mengurangi produksi butirat. Hal ini didukung oleh data *in vitro* sebelumnya yang menunjukkan bahwa ektrak lerak dapat memodifikasi komposisi bakteri rumen dengan peningkatan bakteri *P. ruminicola* yang merupakan bakteri penghasil propionat dan suksinat dalam sistem rumen. Produksi propionat merupakan jalur metabolisme rumen yang menggunakan H_2, sehingga peningkatan produksi propionat dapat mengurangi suplai H_2 yang sering digunakan bakteri metanogen untuk membentuk metan. Dengan demikian penggunaan ekstrak lerak berpotensi mengurangi produksi metan dalam sistem rumen ternak sapi potong.

Penurunan rasio asetat:propionat dengan penambahan ekstrak lerak diduga tidak dipengaruhi oleh penekanan protozoa rumen. Perubahan profil VFA tersebut lebih dipengaruhi oleh adanya komponen gula pada saponin ekstrak lerak. Komponen gula pada saponin dapat menurunkan proporsi asetat serta meningkatkan proporsi propionat dan butirat (Abreu *et al.* 2004).

KESIMPULAN

Pemberian ekstrak lerak sampai dengan level 200 mg/kg BB secara umum tidak mempengaruhi kecernaan nutrien. Produksi VFA total dan proporsi propionat meningkat dengan ekstrak lerak, dan rasio asetat:propionat menurun. Penambahan ekstrak lerak pada level 200 mg/kg BB nyata menurunkan konsentrasi NH_3 rumen. Pemberian ekstrak lerak pada level 200 mg/Kg BB tidak mempengaruhi retensi nitrogen, sintesis protein mikroba dan PBBH pada ternak sapi potong yang mendapat hijauan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Abreu A, Carulla JE, Lascano CE, Diaz TE, Kreuzer M, Hess HD. 2004. Effects of *Sapindus saponaria* fruits on ruminal fermentation and duodenal nitrogen flow of sheep fed a tropical grass diet with and without legume. *J Anim Sci* 82:1392-1400.

Cheeke PR. 2000. Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and Quillaja saponaria saponns in human and animal nutrition. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. 10 pages.

Hartadi H, Reksohadiprodjo S, Lebdosukojo S, Tillman A, Kearl LC, Harris LE. 1980. *Tabel-tabel dari Komposisi Bahan Makanan Ternak untuk Indonesia*. International Feedstuffs Institute Utah Agricultural Experiment Station, Utah.

Kearl LC. 1984. *Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries*. International Feedstuffs Institute, Utah Agricultural Experiment Station, Utah State University, Utah.

Mattjik AA, Sumertajaya IM. 2002. *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab*. Jilid I. Edisi ke-2. Institut Pertanian Bogor (IPB)-Press, Bogor.

REKAYASA LINGKUNGAN TERMAL LARUTAN NUTRISI PADA BUDIDAYA TANAMAN TOMAT SECARA HIDROPONIK

(Design of Thermal Environment of Nutrition Solution for Tomato Plants Cultivated in Hydrophonic)

Yohanes Aris Purwanto[1)], Herry Suhardiyanto[1)], Chusnul Arif[2)], Yudi Chadirin[2)]

[1)]Dep. Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
[2)]Dep. Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

ABSTRAK

Zone cooling diterapkan untuk mendinginkan suhu pada daerah perakaran pada tanaman tomat yang dibudidayakan secara hidroponik. Percobaan dilakukan dengan tiga perlakuan, yaitu pendinginan larutan nutrisi siang malam, pendinginan malam dan tanpa pendinginan. Pengamatan dilakukan terhadap pertumbuhan tanaman tomat dan kualitas buah tomat yang dihasilkan serta perubahan suhu larutan nutrisi harian selama pertumbuhan tanaman. Pada penelitian ini dilakukan juga analisis pindah panas pada pendinginan siang malam larutan nutrisi. Disamping itu dikembangkan juga sistem monitoring lingkungan mikro dengan menggunakan *filed server* (FS) untuk menentukan kebutuhan air dan nutrisi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan pendinginan siang malam menunjukkan pertumbuhan tanaman yang relatif lebih cepat, dan buah tomat yang dihasilkan mempunyai kadar gula relatif lebih tinggi dibanding perlakuan yang lain. Analisis keseimbangan termal dan pindah panas terhadap model yang dikembangkan diselesaikan dengan metode numerik beda hingga Euler (*finite difference method*). Hasil validasi model diperoleh nilai koefisien determinasi pada tangki larutan nutrisi sebesar 0.748 dan pada bedeng tanaman sebesar 0.733. Dengan menggunakan IP Public pada monitoring dengan *field server*, parameter radiasi matahari, suhu udara dan kelembaban relatif dan kondisi tanaman bisa diketahui dan diakses secara online dengan jaringan internet.

Kata kunci : Pendinginan siang malam, *zone cooling*, larutan nutrisi, hidroponik, tomat.

ABSTRACT

Zone cooling was applied to reduce the temperature in the root zone of tomato plants cultivated in hidrophonic. The experiment was carried out into three different treatments, namely day night cooling, night cooling and without cooling. Observation was carried out for the growth of tomato plant, the quality of tomato fruits, and the changes in suhue of nutrion solution daily during the plant growth. In this study, a heat transfer of nutrition solution during day night cooling was also analyzed. It was also demonstrated the monitoring system of micro environment using field server to monitor the water and nutrition requirement of tomato plant. The results showed that for day night cooling treatment, the growth rate of tomato plant as well as the total soluble solid of tomato fruits was better than that other treatments. For the development of heat transfer model, the analysis of thermal equilibrium and heat transfer were solved by Euler finite different method. The validation of the model resulted that the value of coefficient of determination for nutrition solution in tank and plant shed were 0.733 and 0.748. It was demonstrated that by using IP public on the field server, the changes in value of of solar radiation, ambient temperature, RH as well as tomato plant condition was able to be monitored and accesed through internet network.

Keywords : Day night cooling, zone cooling, nutrient solution, hydroponics, tomato.

PENDAHULUAN

Tomat (*Lycopersicum esculentum Mil*) merupakan komoditas pertanian yang memiliki nilai jual cukup tinggi. Saat ini budidaya tomat mulai banyak dilakukan di dalam rumah kaca (*greenhouse*) dimana beberapa diantaranya dengan sistem hidroponik. Budidaya hidroponik dalam rumah kaca memungkinkan dilakukan rekayasa lingkungan mikro tanaman, seperti suhu, kelembaban, dan kualitas larutan nutrisi. Untuk daerah tropis seperti Indonesia, iklim dicirikan dengan tingginya suhu udara sepanjang hari karena tingginya radiasi sinar matahari dan rumah kaca yang bersifat sebagai pengumpul panas yang baik. Untuk mengurangi pengaruh panas di dalam rumah kaca, perlu dilakukan pengendalian suhu melalui rekayasa termal. Pengendalian suhu dilakukan dengan berbagai cara yaitu dengan ventilasi alam, pemasangan kipas atau menggunakan pemanas/pendingin udara dalam rumah tanaman.

Tingginya beban panas dalam rumah kaca yang diakibatkan sinar matahari yang bersinar terus selama 12 jam per hari sepanjang tahun memerlukan energi yang besar untuk pendinginan. Cara yang dilakukan untuk menghemat energi pendinginan adalah dengan cara mendinginkan suhu pada daerah yang terbatas yaitu pada daerah perakaran atau disebut sebagai *zone cooling*. Penurunan suhu pada daerah perakaran dapat dilakukan dengan cara mendinginkan larutan nutrisi yang dialirkan ke tanaman.

Pendinginan terbatas atau *zone cooling* dilaporkan dapat mendinginkan suhu udara di sekitar tanaman dengan input energi yang minimum (Kojima and Suhardiyanto, 1991; Suhardiyanto and Matsuoka, 1992). Udara dingin dihembuskan melalui pipa-pipa berlubang yang diletakkan di sekitar tanaman mampu mendinginkan udara sekitar tanaman, yakni 2-6 ^{o}C lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang tidak mendapat hembusan udara dingin. Energi listrik yang digunakan berkisar antara 0.57 – 0.68 MJ per m^2 per hari (Suhardiyanto and Matsuoka, 1992 dan 1994). Pada budidaya sistem hidroponik *Nutrient Film Tehnique* (NFT), *zone cooling* dapat dilakukan dengan cara mendinginkan larutan nutrisi dalam tangki nutrisi yang selanjutnya disirkulasikan ke daerah perakaran sepanjang bedeng tanaman. Pendinginan larutan nutrisi yang

disirkulasikan ini dilaporkan sebagai metode yang efisien energi untuk budidaya tanaman dalam rumah kaca untuk daerah beriklim panas dan lembab.

Karakteristik pertumbuhan tanaman tomat adalah, suhu bulanan rata-rata yang sesuai untuk pertumbuhan antara 21-24˚C, sedangkan suhu malam yang sesuai bagi pembentukan bunga dan buah antara 15-20˚C. Untuk pertumbuhan dan hasil yang baik, tomat memerlukan penyinaran matahari sepanjang hari (Thompson dan Kelly, 1979). Pembuahan lebih cepat pada suhu tinggi, tapi hasilnya akan lebih bagus pada suhu rendah. Pada suhu rendah pertumbuhan lebih lambat, karena kandungan gula berkurang pada saat respirasi, sehingga terjadi akumulasi gula pada daun dan buah. Oleh karena itu suhu rendah menghasilkan buah yang cukup besar (Dorey, 1960). Suhu berpengaruh langsung pada metabolisme dan berpengaruh pada warna, tekstur, ukuran dan sifat organoleptik lainnya. Suhu tinggi mempercepat perkembangan buah dan mengurangi kebutuhan waktu pembuahan, tetapi juga mengurangi ukuran dan kualitas buah tomat. Warna buah tomat akan berkembang dengan baik jika suhu sekitar di dalam rumah kaca mencapai 12°C dan 21°C. Jika suhu terlalu rendah (< 10°C) atau terlalu tinggi (>30°C) maka akan menghambat pematangan buah dan perkembangan lycopene. Perkembangan bunga dan buah tomat baik jika tanaman tumbuh pada suhu rendah (17°C siang/ 7°C malam dengan bandingan 26°C siang/ 18°C malam).

Tujuan penelitian ini adalah: 1) melakukan rekayasa termal dalam rangka mengembangkan teknologi yang hemat energi, efisien, dan efektif untuk meningkatkan kualitas buah tomat pada budidaya secara hidroponik dengan sistem *Nutrient Film Technique* (NFT), dan 2) mengembangkan sistem monitoring pertumbuhan tanaman menggunakan Field Server (FS).

METODE PENELITIAN

Persiapan bahan

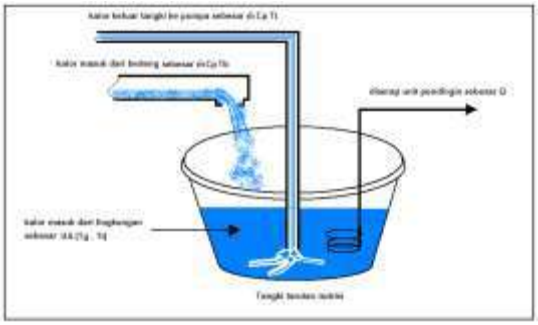
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih tomat hibrida. Benih Tomat disemai di dalam tray semai dengan menggunakan media tanam arang sekam. Sebelum disemai benih direndam air hangat selama kurang lebih 30 menit. Selanjutnya dilakukan penyemaian di media tanam dan ditutup dengan

plastik mulsa. Setelah 2 hari plastik mulsa dibuka tetapi selalu dijaga kelembabannya. Pembenihan ini berlangsung selama 3 minggu. Selanjutnya benih tomat ditanam di bedeng tanaman sistem hidroponik NFT. Bedeng dibuat dari kayu sepanjang 6 m yang dilapisi oleh plastik warna terang. Cover bagian atas bedeng adalah *styrofoam* yang dilapisi plastik untuk mencegah kehilangan panas. Ada 3 buah bedeng yang dibuat masing-masing untuk kontrol (tidak ada perlakuan pendinginan nutrisi), perlakuan pendinginan malam hari serta perlakuan pendinginan siang dan malam hari. Untuk perlakuan dengan pendingin, suhu larutan nutrisi dijaga suhunya dengan menempatkan alat pendingin.

Analisis keseimbangan termal

a. Tangki larutan nutrisi

Proses keseimbangan dimulai dari kalor masuk ke tangki larutan nutrisi yang dibawa oleh air yang berasal dari bedeng tanaman. Selama melalui bedeng tanaman, nutrisi menyerap kalor dari lingkungan sekitar bedeng melalui peristiwa konveksi dan konduksi. Besarnya kalor yang dipindahkan dari bedeng ke tangki nutrisi adalah sebanding dengan laju aliran massa air. Laju aliran massa air merupakan perubahan massa air per satuan waktu. Selain itu tangki juga mendapat tambahan kalor dari lingkungan melalui dinding tangki. Kemudian kalor yang keluar tangki nutrisi adalah kalor yang terbawa oleh aliran air yang dipompa dari tangki menuju *inlet* bedeng, dan kalor diserap oleh unit pendingin. Besarnya kalor yang diserap unit pendingin adalah sebesar *Q*. Skema proses keseimbangan termal tersebut diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema proses keseimbangan termal di tangki larutan nutrisi.

Persamaan matematika pada keseimbangan termal di tangki larutan nutrisi adalah :

$$\mathbf{m\ C_p \frac{dT_t}{dt} = \dot{m}\ C_p T_p - \dot{m}\ C_p T_t - Q + (U_t\ A_t\ (T_g - T_t))} \quad \text{.....(1)}$$

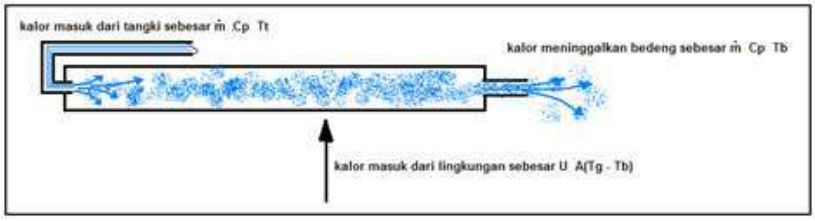
Dengan metode numerik beda hingga Euler (*finite difference method*), maka persamaan diatas akan menjadi:

$$\mathbf{T_{t(i+1)} = T_{t(i)} + \frac{\Delta t}{m\ C_p}\left(\dot{m}\ C_p T_b - \dot{m}\ C_p T_t - Q + U_t\ A_t\ (T_g - T_t)\right).} \quad \text{.....(2)}$$

Dimana m: massa air (kg), T_b : suhu larutan nutrisi di bedeng (^oC), T_t : suhu larutan nutrisi di tangki (^oC), $T_{t(i+1)}$: suhu larutan nutrisi di tangki pendugaan n(^oC), T_g : suhu *greenhouse* (^oC), A_t : luas permukaan tangki terbasahkan n(m^2), $\dot{m}$: laju aliran massa air (kg/det), C_p: kalor jenis air (4.178 kJ/kg ^oC), U_t : *overall heat transfer* tangki (W/m^2 ^oC), dan *Q* : kalor yang diserap oleh pendingin (W).

b. Bedeng tanaman

Larutan nutrisi dipompakan ke bedeng tanaman sehingga bedeng mendapat penambahan kalor dari larutan nutrisi yang masuk ke dalam bedeng yang besarnya sebanding dengan banyaknya massa nutrisi yang masuk melalui *inlet* bedeng per satuan waktu. Kalor yang masuk dari lingkungan luar bedeng juga memiliki kontribusi dalam penambahan jumlah kalor pada bedeng melalui peristiwa konveksi dan konduksi. Karena dilapisi plastik berwarna hitam maka panas lebih mudah terserap ke dalam bedeng. Selain penambahan kalor, terjadi proses pengeluaran kalor dari sistem pada bedeng. Air yang mengalir dari *inlet* bedeng menuju *outlet* bedeng menyerap kalor di sepanjang perjalanannya. Kalor yang terserap itu kemudian dipindahkan ke dalam tangki bersama dengan aliran massa nutrisi. Skema proses keseimbangan termal tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema keseimbangan termal pada bedeng tanaman

Persamaan matematika pada keseimbangan termal di bedeng tanaman adalah :

$$m\,C_p\,\frac{dT_b}{dt} = \dot{m}\,C_p\,T_t - \dot{m}\,C_p\,T_b - U_b\,A_b(T_b - T_g) \quad \text{..... (3)}$$

Dengan metode numerik beda hingga Euler (*finite difference method*), maka persamaan diatas akan menjadi:

$$T_{b(i+1)} = T_{b(i)} + \frac{\Delta t}{m\,C_p}\left(\dot{m}\,C_p\,T_t - \dot{m}\,C_p\,T_b - U_b\,A_b\,(T_b - T_g)\right) \quad \text{..... (4)}$$

dimana $T_{b(i+1)}$: suhu larutan nutrisi di bedeng pendugaan (^oC), U_b : *overall heat transfer* bedeng ($W/m^2\ ^oC$) dan A_b : luas permukaan bedeng terbasahkan (m^2)

c. Pengukuran suhu

Pengamatan dilakukan seminggu setelah bibit dipindahkan ke bedeng tanaman. Parameter yang diukur meliputi suhu larutan nutrisi pada tangki, suhu pipa saluran, suhu bedeng tanaman, dan suhu lingkungan di dalam dan luar *greenhouse*. Pengukuran dilakukan secara bersamaan setiap 30 menit sekali. Data-data tersebut merupakan hasil pengukuran selama 3 hari berturut-turut pada setiap fase pertumbuhan tanaman.

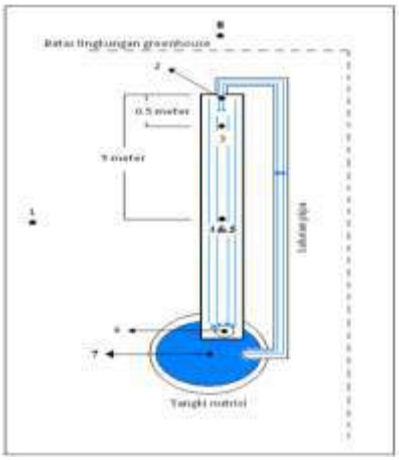
Pengukuran suhu larutan nutrisi pada pipa dilakukan pada larutan yang melalui inlet dan outlet pipa sedangkan pengukuran distribusi suhu larutan nutrisi bedeng tanaman dilakukan pada bedeng bagian dalam yang berhubungan langsung dengan larutan nutrisi. Pengukuran dilakukan pada 4 titik pengukuran yaitu pada inlet, 0,25 m dari inlet, outlet (10 m dari inlet), dan titik tengah antara inlet dan outlet (5 m dari inlet/outlet). Titik pengukuran pada inlet bedeng dianggap sama dengan titik outlet pipa. Pengukuran dilakukan pada masing-masing pipa dan bedeng tanaman.

Pencatatan data suhu dilakukan pada masing-masing pipa dan bedeng dan dilakukan selama 24 jam per 30 menit, baik untuk pendinginan yang dinyalakan setiap hari maupun yang dinyalakan hanya pada malam hari saja. Dalam pengamatan sebaran suhu, ada 3 perlakuan pendinginan yang dilakukan yaitu: a) Bedeng I adalah bedeng kontrol tanpa pendinginan, b) Bedeng II adalah bedeng pendinginan siang malam dan c) Bedeng III adalah bedeng pendinginan malam hari.

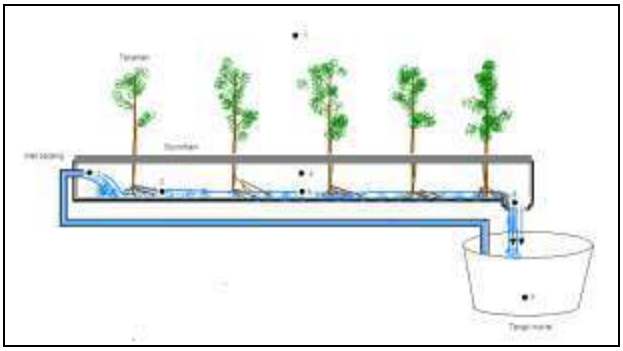
Pemodelan pindah panas pada pendinginan siang malam larutan nutrisi

Model matematika yang dikembangkan didasarkan pada prinsip pindah panas dan keseimbangan termal pada sistem siklus aliran larutan nutrisi. Perpindahan panas yang diperhitungkan hanya melalui proses konduksi dan konveksi. Suhu larutan nutrisi di tangki dan bedeng berada pada keadaan *unsteady-state*, yang berarti mengalami perubahan menurut waktu. Hal ini ditunjukkan pada air yang bersirkulasi dalam tangki membutuhkan waktu untuk menjadi lebih dingin akibat kalor yang tersimpan diserap oleh unit pendingin. Model matematika yang dikembangkan terdiri dari dua persamaan yaitu pada keseimbangan termal pada tangki larutan nutrisi dan keseimbangan termal pada bedeng tanaman.

Untuk verifikasi model matematika yang dikembangkan, dilakukan pengukuran di bedeng dengan perlakuan pendinginan yang berbeda-beda. Pengukuran suhu larutan nutrisi di bedeng tanaman tersebut dilakukan pada 4 titik pengukuran yaitu pada *inlet* bedeng, *outlet* bedeng (berjarak 10 m dari *inlet*), dan titik tengah antara *inlet* dan *outlet* (0.5 dan 5 m dari *inlet* bedeng). Titik pengukuran pada *inlet* pipa dianggap sama dengan titik pengukuran larutan nutrisi dalam tangki dan titik pengukuran pada *inlet* bedeng dianggap sama dengan titik *outlet* pipa. Suhu larutan nutrisi di bedeng merupakan rata-rata dari ke empat titik pengukuran di sepanjang bedeng (0 m, 0.5 m, 5 m dan 10 m dari titik *inlet* bedeng) (Gambar 3).



(a)



(b)

Gambar 3. Skema titik pengukuran suhu bedeng dan suhu larutan nutrisi; a) tampak atas, b) tampak samping

Pengaruh Pendinginan Siang Malam pada Kualitas Buah Tomat

Buah tomat dipanen pada fase matang merah dimana ditandai dengan telah berubahnya warna tomat dari hijau menjadi merah merata. Uji mutu dilakukan dengan melakukan pengukuran sifat fisik dan kimiawi dari sampel buah tomat. Sifat fisik buah tomat yang diukur adalah berat segar, diameter, volume. Berat segar diukur dengan menggunakan timbangan digital sedangkan diameter vertikal dan horisontal buah diukur menggunakan jangka sorong. Pengukuran sifat kimiawi meliputi total padatan terlarut dan *dry matter*. Total padatan terlarut atau merupakan parameter utama kualitas buah tomat.

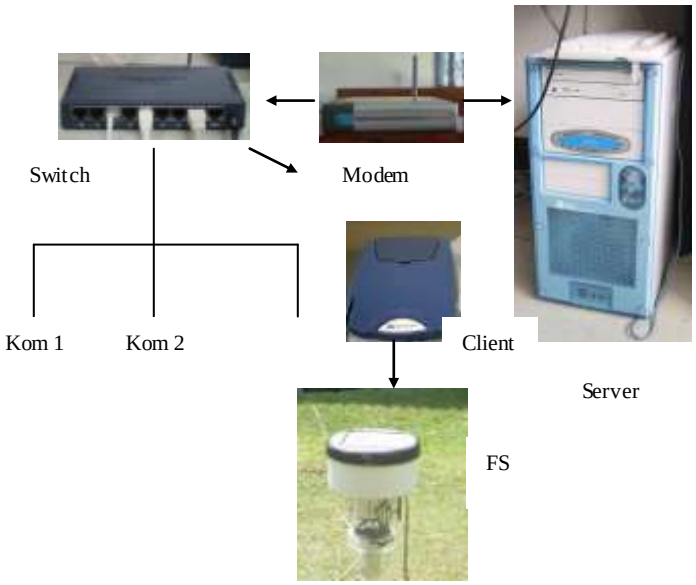
Perancangan Sistem Monitoring parameter lingkungan mikro menggunakan Field Server (FS)

Field Server (FS) merupakan alat untuk memonitor parameter lingkungan secara otomatis yang terdiri dari komponen utama antara lain: Web Server, ADC, DAC, Ethernet Controller, Sensor (suhu udara, RH, radiasi matahari) dan CCD Camera. Field Server yang telah siap dipasang di dalam rumah kaca, dengan arah kameranya ditujukan kepada tanaman. Data yang didapatkan dari sensor yang ada kemudian melalui wireless LAN dan router dikirim dari jaringan lokal ke internet. Data diakses melalui web page maupun data viewer. Selain itu data yang tersimpan di web server dapat didownload melalui HTTP post maupun FTP.

Koneksi FS dengan Jaringan Internet

Agar data FS dapat diakses secara real time dimana saja dan kapan saja, maka FS harus terhubung dengan koneksi internet dan memiliki IP Public. Koneksi internet yang digunakan dari Telkom Speedy Unlimited. Adapun skema jaringan FS ini dapat dilihat pada Gambar 4. Jaringan internet Telkom Speedy akan memberikan satu IP Public kepada pengguna, yaitu: 125.166.42.26. IP tersebut akan otomatis terdeteksi di dalam modem setelah mengeset username dan *password* dari Telkom Speedy. Setelah terkoneksi dengan internet, modem diset untuk bisa memforward port IP pada FS. Pengesetan dilakukan pada menu *port forwarding* pada modem. IP FS terdiri dari 2 buah IP, yaitu IP untuk CPU (terkoneksi dengan data suhu, RH dan radiasi) dan IP Camera (untuk memantau gambar tanaman). IP CPU adalah 192.168.62.100:85 dan IP Camera adalah

192.168.62.102:86. Setelah modem diset, maka FS dapat diakses secara global dengan IP 125.166.42.26:85 untuk IP CPU dan 125.166.42.26:86 untuk IP Camera. Data FS dapat disimpan otomatis di server setiap 10 menit. Software yang digunakan untuk menyimpan data adalah bahasa pemrograman *PERL*.



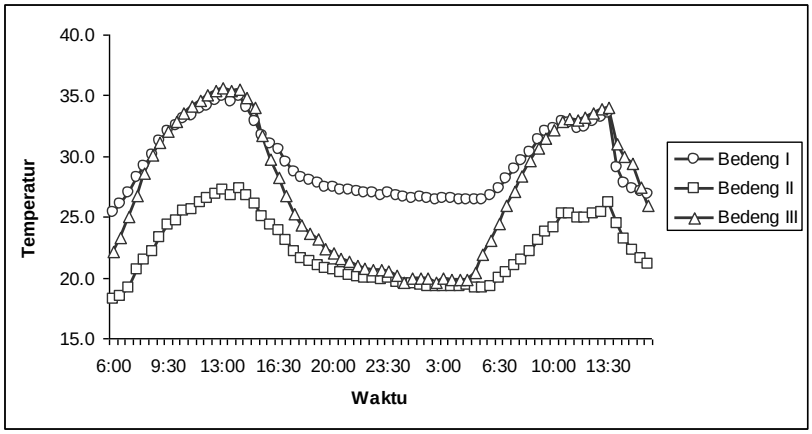
Gambar 4. Skema jaringan Field Server.

Data FS yang tersimpan masih dalam satuan mV. Untuk itu, perlu dilakukan kalibrasi agar nilai parameter yang disajikan kedalam unit yang sesuai. Kalibrasi FS akan dilakukan menggunakan *Davis Weather Station* untuk mengkalibrasi data suhu udara, RH, radiasi matahari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis perubahan suhu

Perlakuan untuk 3 bedeng tanaman yang berbeda meliputi: a) bedeng kontrol tanpa pendinginan (I), b) bedeng pendinginan siang malam (II) dan c) bedeng pendinginan malam hari (III). Sebaran suhu yang diamati adalah pada tangki nutrisi, bedeng tanaman dan lingkungan. Hasil sebaran suhu pada tangki nutrisi untuk masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Gambar 5.

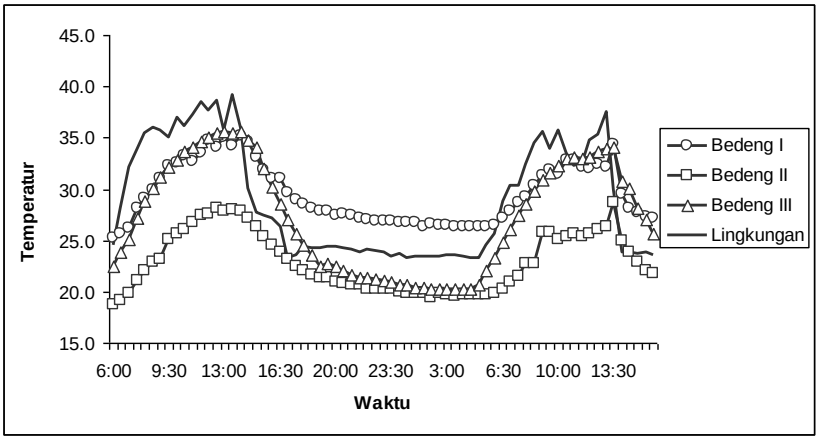


Gambar 5. Suhu pada tangki nutrisi.

Dari gambar 5 dapat dilihat pada terjadi perbedaan suhu yang cukup signifikan pada masing-masing Bedeng. Pada Bedeng I kisaran suhu tangki nutrisi antara 25-35^{o}C, pada bedeng II pada kisaran 18-27 ^{o}C sedangkan pada bedeng III pada kisaran 19-35 ^{o}C. Kisaran suhu diatas termasuk suhu yang tinggi untuk pertumbuhan tanaman tomat. Berdasarkan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa hanya bedeng II yang masih dapat ditoleran untuk pertumbuhan tanaman tomat. Hasil sebaran suhu pada bedeng tanaman dapat dilihat pada Gambar 6. Terjadi perbedaan suhu yang cukup signifikan pada masing-masing bedeng. Pada Bedeng I kisaran suhu bedeng tanaman antara 25-35^{o}C, pada bedeng II pada kisaran 18-28 ^{o}C, pada bedeng III pada kisaran 20-35^{o}C, sedangkan suhu lingkungan berkisar antara 23-39 ^{o}C. Kisaran suhu ini lebih tinggi dari kisaran suhu pada tangki nutrisi. Hal ini wajar, karena terjadinya pindah panas dengan suhu lingkungan.

Dengan suhu lingkungan yang cukup tinggi akibat *greenhouse effect* pada siang hari, suhu tangki nutrisi dan bedeng tanaman untuk perlakukan kontrol tanpa pendinginan (bedeng I) dan pendinginan malam hari (bedeng III) juga meningkat. Peningkatan suhu sudah lebih dari 30^{o}C tersebut sudah melewati batas yang ditolerir tanaman. Hal ini menyebabkan gangguan fisiologis tanaman sehingga tanaman tidak dapat tumbuh dengan optimal. Sebagiamana dilaporkan oleh Dorais (2001) bahwa suhu berperan pada karakteristik dan penyusun buah. Sedangkan pada bedeng II (pendinginan siang malam), tanaman tomat masih

tumbuh, tetapi pertumbuhannya juga tidak optimal. Buah tumbuh kecil tidak normal dan pematangannya terlambat.



Gambar 6. Suhu pada bedeng tanaman.

Pengaruh rekayasa termal terhadap kualitas buah tomat

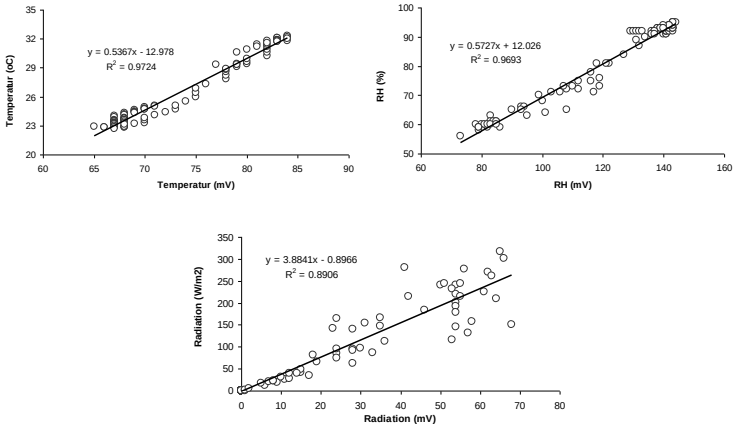
Buah tomat dipanen pada fase matang merah dimana ditandai dengan telah berubahnya warna tomat dari hijau menjadi merah merata. Setelah dipanen dilakukan analisis fisik dan kimia untuk mengetahui kualitas buah tomat. Analisis dilakukan terhadap 3 sampel buah tomat untuk masing-masing perlakuan. Hasil pengukuran parameter fisik meliputi panjang vertikal, panjang horisontal, massa dan kadar gula ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran parameter fisik buah tomat

Sampel	Ukuran		Massa bahan (gram)	TPT (ºBrix)
	Vertikal (cm)	Horizontal (cm)		
Pendinginan siang malam				
Sampel 1	4.01	3.62	38.87	5.0
Sampel 2	3.70	3.10	25.80	5.0
Sampel 3	3.72	3.84	31.45	5.2
Kontrol				
Sampel 1	4.50	4.29	46.47	4.6
Sampel 2	4.03	3.58	34.44	4.8
Sampel 3	3.95	3.56	37.70	4.4

Sistem Monitoring menggunakan Field Server (FS)

Sistem monitoring ini dikembangkan untuk memantau pertumbuhan tanaman dan lingkungan mikro secara *real time* menggunakan akses internet dan intranet. Akses internet dikembangkan ditempat yang memiliki jaringan internet dengan IP global sedangkan jaringan intranet ditempat dengan IP lokal. Untuk sistem NFT modifikasi, sistem monitoring dilakukan untuk monitoring menggunakan jaringan lokal, sedangkan untuk hidroponik substrat dikembangkan sistem monitoring dengan jaringan global. Kalibrasi dilakukan dari pukul 01.10 – 16.10 sehingga dengan pengambilan data setiap 10 menit maka diperoleh set data sebanyak 97 data.



a. Suhu b. RH c. Radiasi matahari

Gambar 7. Kalibrasi suhu, RH dan radiasi matahari.

Gambar 7 menunjukkan hasil kalibrasi suhu, RH dan radiasi matahari antara *weather station* dan FS. Untuk kalibrasi suhu, hasil kalibrasi dihasilkan persamaan linear dengan koefisien determinasi sebesar 0.9724. Persamaan untuk menghitung suhu dalam satuan ^{o}C adalah y = 0.5367x – 12.978, dimana y adalah suhu dalam satuan ^{o}C dan x adalah suhu dalam satuan mV yang dihasilkan FS. Untuk RH, didapatkan hampir sama dengan kalibrasi suhu, tetapi koefisien determinasinya sedikit lebih kecil yaitu sebesar 0.9693. Persamaan untuk menghitung RH dalam satuan % adalah y = 0.5727x + 12.026, dimana y adalah RH dalam satuan % dan x adalah RH dalam satuan mV yang dihasilkan FS. Untuk radiasi matahari, hasil kalibrasi menghasilkan nilai koefisien determinasi

0.8906. Hal ini bisa disebabkan karena radiasi yang masuk didalam greenhouse berkurang karena terjadinya proses refleksi dan absorbsi oleh atap rumah tanaman sehingga bisa mengakibatkan penyimpangan dalam kalibrasi. Persamaan untuk menghitung radiasi dalam satuan W/m^2 adalah y = 3.8841x - 0.8966, dimana y adalah radiasi dalam satuan W/m^2 dan x adalah radiasi dalam satuan mV yang dihasilkan FS.

3.4. Pemantauan Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan tanaman dapat dipantau real time. Untuk hidroponik NFT dapat diakses pada alamat http://172.21.1.7:82/, sedangkan untuk hidroponik substrat dengan mengakses alamat http://125.166.42.26:86/. Tampilan dari alamat tersebut dapat dilihat pada Gambar 8. Terdapat 2 menu yaitu *Video* dan *Set up*. Menu *Video* digunakan untuk mengetahui image tanaman dalam bentuk video real time. Untuk bisa menjalankannya dibutuhkan software *Java Runtime Environment* yang terinstall di komputer. Sedangkan menu *Set up* digunakan untuk mengatur IP camera tersebut.

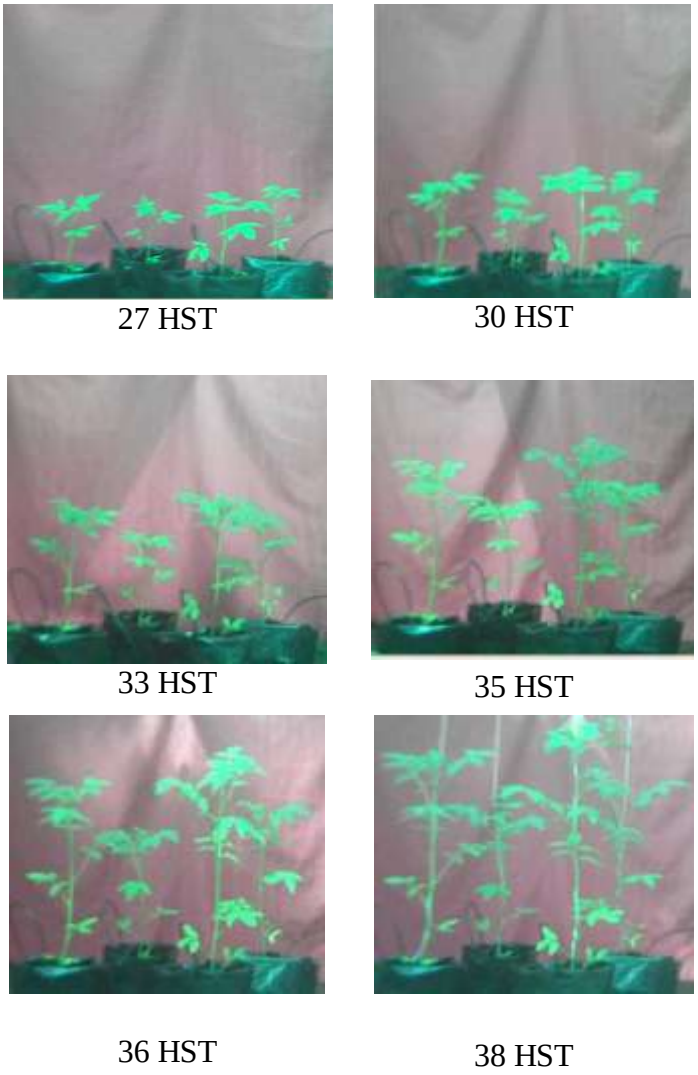
a. Tanaman tomat b. Bibit tomat

Gambar 8. Tampilan alamat web pemantauan pertumbuhan tanaman.

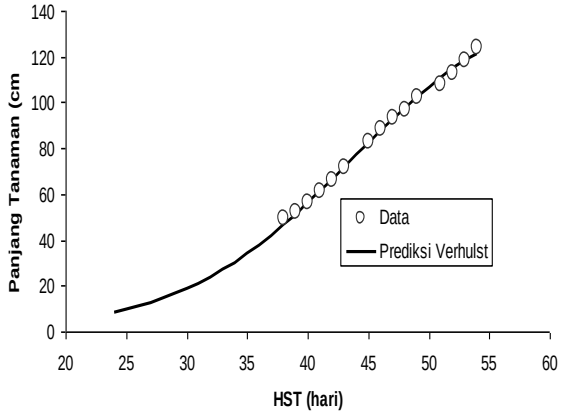
Gambar 9 memperlihatkan pertumbuhan tanaman tomat mulai dari 27 HST (Hari Setelah Tanam) sampai 38 HST. Pertumbuhan tanaman tersebut dapat diperoleh real time hanya dengan mengakses alamat web pertumbuhan tanaman diatas. Dari gambar tersebut memperlihatkan bahwa tanaman terus tumbuh dari

hari ke hari. Hal ini bisa dimaklumi karena pada umur tersebut tanaman memasuki fase vegetatif yang dicirikan oleh pertumbuhan akar, batang dan daun.

Gambar 10 menunjukkan pertumbuhan tanaman pada fase vegetatif. Prediksi pertumbuhan tanaman dilakukan dengan model pertumbuhan Verhulst. Model ini cukup akurat untuk memprediksi pertumbuhan dan telah terbukti khususnya untuk pertumbuhan populasi penduduk. Dari prediksi diatas menunjukkan bahwa model Verhulst juga cukup akurat untuk memprediksi pertumbuhan tanaman pada fase vegetatif. Error yang didapatkan dengan metode Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 5.0, sehingga model tersebut dapat digunakan untuk memprediksi pertumbuhan tanaman.



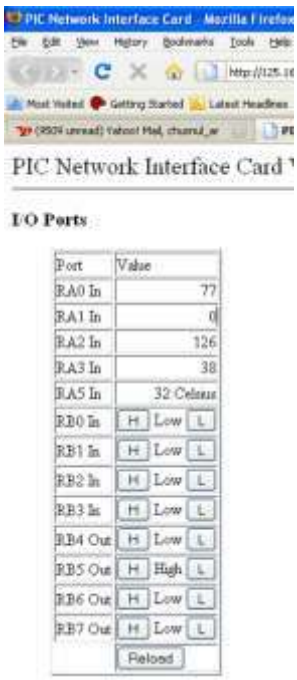
Gambar 9 . Pertumbuhan tanaman tomat dari hari ke hari pada hidroponik substrat.



Gambar 10. Grafik pertumbuhan tanaman.

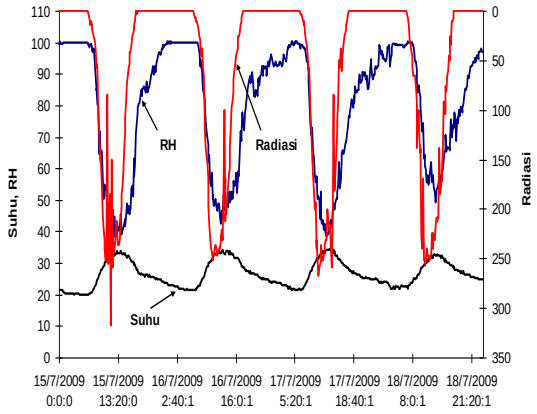
Pemantauan Parameter Lingkungan Mikro

Selain memantau pertumbuhan tanaman, FS juga dapat digunakan untuk memantau parameter lingkungan secara real time. Parameter lingkungan tersebut meliputi suhu udara, RH dan radiasi matahari. Parameter lingkungan tersebut dapat dipantau real time dengan mengakses alamat http://172.21.1.6:81/ untuk hidroponik NFT dan http://125.166.42.26:85/ untuk hidroponik substrat. Tampilan dari alamat tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Tampilan alamat web pemantauan parameter lingkungan.

Tampilan data untuk masing-masing parameter lingkungan ditunjukkan pada nilai port masing-masing. Port RA0 In menunjukkan nilai suhu udara, port RA2 In menunjukkan nilai RH dan port RA3 In menunjukkan nilai radiasi matahari. Gambar 12 menunjukkan hasil pemantauan parameter lingkungan selama 4 hari. Dari ketiga parameter tersebut menunjukkan tren yang sama pada setiap harinya. Semakin tinggi radiasi matahari maka suhu udara akan semakin tinggi pula tetapi RH akan semakin rendah. Hal ini menunjukkan data FS telah menunjukkan data yang benar layaknya pengukuran dengan instrumen lain seperti weather station. Dari hasil tersebut maka bisa ditentukan besarnya nilai evapotranspirasi harian.



Gambar 12. Parameter lingkungan hasil pemantauan.

KESIMPULAN

1. Kisaran suhu pada Bedeng I (kontrol tanpa pendinginan) kisaran suhu bedeng tanaman antara 25-35^{o}C, pada bedeng II (pendinginan siang-malam) pada kisaran 18-28 ^{o}C, pada bedeng III (pendinginan malam) pada kisaran 20-35^{o}C, sedangkan suhu lingkungan berkisar antara 23-39 ^{o}C.
2. Hasil kualitas buah tomat menunjukkan kualitas yang cukup tinggi untuk perlakuan penidnginan siang malam yang ditunjukkan oleh nilai total padatan terlarut rata-rata sekitar 5,15%brix.

3. Model matematika pindah panas yang telah dikembangkan pada pendinginan larutan nutrisi siang dan malam dapat menduga suhu larutan nutrisi dengan kecenderungan yang sama dengan data pengukuran.
4. Hasil validasi model diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) pada tangki larutan nutrisi sebesar 0.748 dan pada bedeng tanaman sebesar 0.733.
5. Sistem monitoring lingkungan mikro dan pertumbuhan tanaman dengan menggunakan Field Server (FS) telah berhasil dikembangkan baik untuk jaringan lokal maupun global.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DP2M), DIKTI atas pendanaan yang diberikan untuk penelitian ini melalui kegiatan hibah bersaing multi tahun dari 2008 sampai 2010.

DAFTAR PUSTAKA

Dorey, R. 1960. Tomato growing by prescription. Blanford Press Ltd, London.

Kojima, K. and H. Suhardiyanto. 1991. Studies of the Zone Cooling System in Greenhouse(1). Performance of the System in a Model Sized Greenhouse. Environment Control in Biology 29 (1):1-10.

Suhardiyanto H. and T. Matsuoka. 1992. Studies on a Zone Cooling System in a Greenhouse (2). Evaluation of a System for Microclimate Modification in a Plastic Greenhouses during Hot Weather. *Environment Control in Biology* 30 (4) : 143-151.

Suhardiyanto**.** H. and T. Matsuoka. 1994. Uniformity *of Cool* Air Discharge along Perforated Tube *for* Zone Cooling in a Greenhouse. *Environment Control in Biology* 32 (I) : 9-16

Thompson, H.C. dan Kelly. 1979. Vegetable Crops. McGraw Hill Book Co., NewYork, USA.

EKSTRAK TERSTANDAR ANTI REMATIK BERBASIS JAHE MERAH (*Zingiber officinale* linn var rubrum)

(Anti-Rheumatic Standardized Extract Formula of Jahe Merah (*Zingiber officinale* linn var rubrum))

Dyah Iswantini[1,2], Min Rahminiwati[1], Ahmad Djunaedi[1], Yunawati Gandasasmita[3], Sari Pramadiyanti[3], Latifah K Darusman [1,2], Edy Djauhari[1], Trivadila[1,2], Huda Salahudin[1], Agus Fachrudin[1], Taopik Ridwan[1]

[1] Pusat Studi Biofarmaka LPPM IPB
[2] Dep. Kimia, Fakultas Matematika dan IPA IPB
[3] PT Bintang Toejoe

ABSTRAK

Pengembangan obat asli Indonesia yang berbahan baku tumbuhan obat merupakan salah satu kajian biofarmaka yang dapat dikembangkan dalam mewujudkan keunggulan pemanfaatan sumberdaya hayati, dalam bidang *agromedicine*. Pengembangan obat herbal pencegah dan/atau pengobat rematik sebagai ekstrak terstandar sangat penting dilakukan karena prospeknya yang sangat bagus dan merupakan kebutuhan mitra industri. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan ekstrak terstandar anti rematik yang telah teruji secara preklinik, aman dikonsumsi, disertai dengan penyediaan bahan baku dan ekstrak yang telah distandarisasikan. Uji praklinik lanjutan dilakukan untuk memperoleh khasiat anti rematik yang lebih spesifik dan stabil ke arah persendian dengan dosis yang tepat yaitu dengan cara menginduksi kollagen II dan *freud's adjuvant* pada tikus penderita arthritis, uji kemanan dilakukan dengan menguji toksisitas sub kronik. Uji coba produksi dalam skala rumah tangga juga dilakukan oleh industri kecil IPB (PT. Biofarindo) dilanjutkan kajian strategi pemasaran dan produksi dalam skala industri besar oleh mitra industri. Hasil penelitian ini adalah sebagai berikut: telah diperoleh produk ekstrak terstandar anti rematik (produk yang khasiatnya teruji secara praklinik dilengkapi dengan uji toksisitas akut dan sub kronik) yang unggul untuk mencegah dan/atau mengobati penyakit rematik yang siap didaftarkan ke BPOM yang dilengkapi dengan penjaminan penyediaan bahan baku berkualitas yang kontinyu, terstandar dan strategi pemasaran tentang produk yang telah diperoleh.

Kata kunci: Ekstrak terstandar, anti rematik, jahe merah (*Zingiber officinale* Linn. Var Rubrum).

ABSTRACT

Development of Indonesian Herbal Medicine is one of biopharmaca study to utilize Indonesian biodiversity in agromedicine aspect. Development of anti rheumatic standardized extract or anti rheumatic herbal medicine had a big prospect in Indonesia. The aim of the research was to produce the safety anti rheumatic standardized extract and providing the standardized raw material and extracts. Advanced preclinical assay was performed to increase the efficacy of formula and to determine the acute and sub-cronic toxicities. Optimization of production were conducted by small industry (PT Biofarindo) and big company (PT Bintang Toejoe) including Marketing Strategy Study of anti rheumatic herbal medicine. Results indicated that anti rheumatic formula produced had highly efficacy and safe to consume. The results were proved by preclinically assay. The product will be registered to BPOM by PT Bintang Toejoe. Continuity providing the

standardized raw material and extracts for anti rheumatic formula have been ensured by collaboration with supervised farmers and PT Biofarindo, respectively. To ensure the sustainibility production of anti rheumatic herbal medicine, the Marketing strategy have been observed.

Keywords : Standardized extract, anti-rheumatic, *jahe merah* (*Zingiber officinale* Linn. Var Rubrum).

PENDAHULUAN

Penyakit rematik merupakan penyakit yang ditandai dengan inflamasi, yaitu adanya peradangan dan rasa nyeri. Penyakit ini diderita oleh masyarakat di seluruh dunia dan pada semua golongan usia. *Juvenile rheumatoid arthritis* adalah rematik yang menyerang anak-anak. *Rheumatoid arthritis* menyerang usia produktif 20 – 40 tahun dan diprediksikan dalam 10 tahun mendatang setidaknya 50 % penderita, khususnya di negara-negara maju, tidak dapat bekerja dengan waktu penuh (WHO 2007). Rasa sakit yang ditimbulkan pada rematik mengakibatkan penderita mengalami gangguan pada aktivitas fisiknya, yang pada akhirnya menurunkan produktivitasnya. Osteoarthritis menyerang 9,6 % laki-laki dan 18 % perempuan usia di atas 60 tahun di seluruh dunia (WHO 2007). Sedangkan di Indonesia sendiri, penduduk yang berusia lanjut (diatas 60 tahun) terus meningkat jumlahnya. Diperkirakan pada tahun 2005-2010 jumlah lansia akan menyamai jumlah balita (usia bawah lima tahun) yaitu sekitar 8,5% dari jumlah seluruh penduduk atau sekitar 19 juta jiwa.

Obat sintetis anti rematik dan antiinflamasi yang digunakan di antaranya termasuk ke dalam kelompok kortikosteroid, obat anti inflamasi non steroid (OAINS), dan OAINS COX-2 *selective inhibitor* (CSI). OAINS dan CSI bekerja dengan menghambat aktivitas dari enzim siklooksigenase (COX), yaitu enzim yang berperan dalam oksidasi asam arakhidonat membentuk prostaglandin yang merupakan proinflamasi. Namun penggunaan obat-obatan ini memiliki efek samping yang berbahaya.

Selain obat-obatan sintetis, terdapat obat-obatan herbal yang digunakan untuk mengobati inflamasi yang menyertai penyakit rematik. Mahalnya obat-obat sintetis dan efek samping yang ditimbulkan membuat masyarakat cenderung mencari alternatif pengobatan dengan menggunakan obat alami. Kecenderungan *back to nature* ini juga terjadi di negara-negara Eropa dan Amerika. Herbal-herbal

yang secara empiris digunakan sebagai obat antiinflamasi penyakit rematik antara lain temukunci (*Bosenbergia rotunda* L. Mansf), kencur (*Kaempferia galanga* L.) kunyit (*Curcuma domestica* Val), cabe jawa (*Piper retrofractum* Vahl.) (Hargono 2000), kemuning (*Murraya paniculata* L.), lada (*Piper nigrum* Linn), pacar air (*Impatiens balsamina* Linn.), jahe (*Zingiber officinale*), dan lain-lain (Hariana 2006). Selain itu, herbal-herbal yang telah diteliti berpotensi sebagai obat rematik di antaranya *Curcuma zedoaria* diketahui memiliki aktivitas penghambatan terhadap enzim COX-2 lebih besar dari 80 % (Hong *et al* 2000), rimpang kunci pepet (*Kaempferia rotunda* L.) memiliki aktivitas antiinflamasi *in vivo* pada tikus putih dengan dosis 600 g/100 g BB (Sa'roni & Adjirni 2000), Seledri (*Apium graveolens*) dan sidaguri (*Sida rhombifolia*) berkhasiat sebagai anti inflamasi dan anti gout (Iswantini *et al* 2003, 2004, 2005a, dan 2005b), lempuyang gajah (*Zingiber zerumbet*) mengandung senyawa-senyawa berkhasiat antiinflamasi (Chien *et al*. 2008). Masih terdapat herbal lain yang digunakan baik dalam komposisi tunggal maupun gabungan. Selain itu, beberapa senyawa dan kelompok senyawa aktif yang telah diisolasi dari berbagai jenis tanaman obat diketahui memiliki aktivitas antiinflamasi seperti asam linoleat dari tanaman *Asparagus officinalis* (Jang *et al.* 2004), triterpenoid ester dari biji tanaman genus Oenothera (Zaugg *et al.* 2006), lignin dari *Iryanthera juruensis* (Silva *et al*. 2007), zerumbon, kamferol (Chien *et al.* 2008), gosipin, dan prokumbentin (Mada *et al*. 2008).

Di Indonesia sendiri terdapat fitofarmaka Rheumaneer® dengan komposisi *Curcuma domestica* rhizoma, *Zingiberis oficinale*, curcumae rhizoma, panduratae rhizoma, dan reteofracti fructus. Selain fitofarmaka, juga terdapat herbal terstandar Rheumakur® (kunyit dan temulawak) dan Songgolangit® (*Tridax procumbens*) (BPOM 2005).

Di antara herbal yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi produk ekstrak/herbal terstandar dan fitofarmaka sebagai obat rematik dan antiinflamasi adalah seledri (*Apium graveolens*), sidaguri (*Sida rhombifolia*), dan jahe merah (*Zingiber officinale* Linn var rubrum). Kami telah melakukan penelitian terhadap potensi seledri dan sidaguri sebagai obat anti gout, yaitu khasiatnya dalam menghambat aktivitas enzim xantin oksidase baik dalam komposisi tunggal maupun gabungan yang melebihi allopurinol (Iswantini *et al* 2003 dan 2004).

Formula gabungan ini juga telah menunjukkan khasiatnya sebagai pencegah penyakit asam urat dan anti inflamasi yang signifikan (Iswantini *et al* 2004, 2005 a dan 2005b). Selain itu, kinetika inhibisi dari ekstrak tunggal sidaguri terhadap enzim xantin oksidase secara *in vitro* juga sudah dipelajari, hasil menunjukkan bahwa esktrak kasar flavonoid merupakan inhibitor kompetitif dari enzim xantin oksidase (Iswantini *et al* 2009). Sedangkan, Jahe merah sendiri dikenal memiliki khasiat mengurangi rasa sakit, memperkuat khasiat obat lain yang dicampurnya dan merangsang selaput lendir perut besar dan usus, merangsang kekebalan tubuh (Adi 2006). Gingerol yang dihasilkan rimpang jahe (*Z. officinale* Roscoe.) dikenal dapat mengatasi rasa nyeri dan inflamasi, yaitu dengan menekan kerja lipoksigenase dan sikloksigenase sehingga tanaman ini berpotensi sebagai obat antiinflamasi dan gastroprotektor (Thompson *et al.* 2002). Selain itu, jahe juga bisa digunakan untuk mengobati penyakit-penyakit kardiovaskuler (Sheu *et al.* 2004). Sehingga, tanaman ini bisa lebih aman jika digunakan utuk obat antiinflamasi dibandingkan obat CSI sintetis. Untuk mengetahui lebih lanjut khasiat dan mekanisme kerja formula sebagai anti rematik yang salah satu penyebabnya adalah peradangan/inflamasi, serta untuk melindungi produk jadi dari peniruan, maka telah diuji secara *in vitro* aktivitas penghambatan formula ekstrak berbasis jahe merah terhadap aktivitas enzim COX-2, yaitu enzim yang berperan pada proses pembentukan agen inflamasi (Darusman *et al.* 2007). Hasil menunjukkan bahwa sudah diperoleh formula terbaik yaitu formula berbasis ekatrak jahe merah. Pada tahun 2008, Darusman *et al.* melanjutkan uji efikasi pada formula jahe merah secara praklinik formula tersebut sebagai anti inflamasi dan analgesik juga uji toksisitas akut formula. Hasil menunjukkan bahwa formula yang diperoleh dari penelitian ini mempunyai efek analgesik dan antiinflamasi yang cukup baik. Selanjutnya, berdasarkan uji toksisitas akut, formula yang diuji tidak bersifat toksik karena sampai diatas 15 g formula/kg bb hewan coba (tikus), formula ini tidak menimbulkan kematian.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan juga potensi formula berbasis jahe merah tersebut serta kebutuhan dari mitra industri akan ekstrak terstandar anti rematik, maka penelitian lebih lanjut perlu dilakukan hingga dihasilkan produk ekstrak terstandar berkhasiat sebagai obat rematik dan antiinflamasi berbahan

dasar jahe merah yang murah, aman, dan teruji secara ilmiah serta dilengkapi jaminan penyediaan bahan baku yang terstandar dan berkualitas.

Penelusuran paten dilakukan untuk melihat inovasi dan kebaruan dari produk yang akan dihasilkan. Berdasarkan penelusuran pada situs kantor paten Amerika (www.uspto.gov), tidak terdapat paten yang memuat khasiat gabungan jahe merah (*Zingiber officinale* linn var rubrum) sebagai anti rematik. Oleh karena itu, produk ekstrak terstandar yang akan dihasilkan dari penelitian ini merupakan suatu inovasi dalam perkembangan obat rematik dan antiinflamasi dan juga sebagai alternatif solusi pengobatan penyakit tersebut di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan adalah simplisia jahe merah, seledri, bahan kimia untuk ekstraksi dan standarisasi ekstrak, bahan kimia dan hewan coba untuk uji preklinik dan uji toksisitas akut.

Alat yang digunakan adalah alat ekstraksi, kandang dan peralatan uji *in vivo*, HPLC, AAS, dan spektrofotometri UV-Vis.

Ruang lingkup penelitian yang dilakukan ini meliputi uji khasiat dan keamanan pemakaian ekstrak terstandar anti rematik, klaim indikasi yang jelas dan spesifik, penjaminan penyediaan bahan baku yang berkualitas dan kontinyu, serta produksi dan pemasaran produk ekstrak terstandar anti rematik tersebut.

Penelitian dilakukan untuk menghasilkan ekstrak terstandar yang memenuhi kriteria yang tercantum dalam Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 761/Menkes/SK/IX/1992. Dalam pedoman tersebut suatu ekstrak terstandar harus telah melalui tahapan: Standarisasi bahan baku, Pengujian Farmakologik (Uji khasiat atau pemastian khasiat), Pengujian Toksisitas (Akut, sub kronik, dan Spesifik), Pengujian Farmakodinamik, Pengembangan Sediaan (Formulasi, tunggal atau maksimal 5), Penapisan Fitokimia dan Standarisasi Sediaan, dan Pengujian praklinik (ekstrak terstandar).

Tahapan pengembangan ekstrak terstandar yang dilakukan dalam skema Riset Insentif Peningkatan Kapasitas IPTEK Sistem Produksi adalah pengujian farmakologik lanjutan sebagai anti rematik, pengujian toksisitas sub kronik, uji coba produksi/optimasi proses dalam skala rumah tangga dan industri, kajian

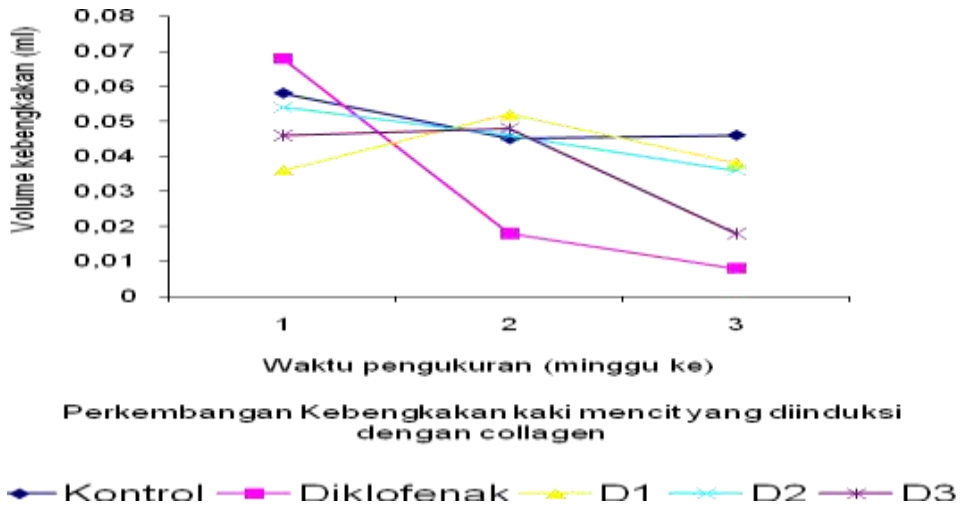
strategi pemasaran serta pelatihan dan pendampingan petani dalam menyediakan bahan baku berkualitas dan terstandar. Tetapi dalam tulisan ini hanya membahas uji preklinik lanjutan dan uji toksisitas sub kronik saja.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji *in vivo* lanjutan/ uji kuratif lanjutan khasiat formula terbaik sebagai anti rematik

Sebelum dilakukan *uji in vivo* lanjutan khasiat formula terbaik sebagai anti rematik, dilakukan uji pendahuluan dahulu untuk menentukan dosis induktor artritis yang dapat menyebabkan pembengkakan pada tikus.

Setelah selesai dilakukan uji *in vivo* pendahuluan, maka dilanjutkan dengan uji *in vivo* lanjutan. Hasil dari uji ini dapat dilihat dalam gambar dibawah ini.



Gambar 1. Hasil uji *in vivo* lanjutan khasiat formula terbaik sebagai anti rematik.

Hasil pemeriksan efektivitas sebagai antiinflamasi/ anti rematik secara *in vivo* pada mencit menunjukkan adanya kecenderungan penurunan gejala klinis meskipun perbedaannya antar perlakuan tidak berbeda nyata secara statistik ($P>0.05$). Kalau dilihat dalam gambar diatas, perlakuan dosis 3 menunjukkan penurunan peradangan, walaupun penurunan peradangannya tidak sebesar kontrol positif (diklofenak), penurunan peradangan sepertinya sangat tergantung pada waktu perlakuan. Kalau dosis 3 ditambah waktu perlakuannya, maka peradangan akan semakin menurun. Meskipun demikian kesimpulan yang sesungguhnya

hanya bisa ditegaskan setelah diperoleh hasil pemeriksaan histopatologi terhadap persendian. Karena meskipun kebengkakannya tidak bisa hilang bukan berarti gejala peradangannya tetap ada. Kerusakan persendian yang bersifat menetap tidak bisa dikembalikan normal. Obat untuk mengatasi artritis rematoid umumnya hanya bisa mengendalikan gejala peradangan dan mencegah timbulnya kerusakan lebih lanjut akibat adanya peradangan tetapi deformitas sendi akibat peradangan tetap tidak bisa pulih kembali. Dapat dikatakan, formula terbaik ini mempunyai khasiat sebagai anti rematik.

Melakukan pengujian toksisitas sub kronik, denga protokol dari BPOM, sehingga produk ini siap didaftarkan ke BPOM sebagai ekstrak terstandar

Pengamatan yang dilakukan setiap hari adalah perilaku dan aktivitas motorik : dilakukan pengamatan rasa ingin tahu (jumlah jengukan pada platform), aktivitas motorik, straub, piloreksi, ptosis, reflex pineal, refleks kornea, lakrimasi, midriasis, katalepsi, sikap tubuh, menggelantung, retablismen, fleksi, respons tertutup induksi sakit (uji Hefner), kolik, mortalitas "grooming", defekasi, urinasi, pernapasan, salivasi, vokalisasi, tremor, "writing" (menggeliat) setelah pemberian pertama kali. Berat badan ditimbang setiap minggu. Pengujian darah rutin sebelum perlakuan dan sesudah perlakukan meliputi : jumlah sel darah merah, sel darah putih, differensial, trombosit, Hb, dan hematrokit. Penentuan uji fungsi organ secara biokimia dan kimia klinik melalui pemeriksaan darah meliputi SGPT,SGOT,gula darah, kreatinin, Na,K,Cl,total protein. Seluruh hewan uji diambil organ lambung, jantung, hati, usus, ginjal, paru, limfa, testes, uterus dan dibuat irisan histopatologinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formula anti rematik ini aman dikonsumsi dalam jangka waktu tertentu dan tidak menimbulkan efek yang mengkhawatirkan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan ini dapat disimpulkan bahwa: hasil uji *in vivo* lanjutan menunjukkan bahwa formula yang ditemukan mempunyai khasiat menurunkan gejala klinis rematik. Dan formula anti rematik

ini aman dikonsumsi dalam jangka waktu tertentu dan tidak menimbulkan efek yang mengkhawatirkan.

DAFTAR PUSTAKA

Altinier G, Sosa S, Aquino RP, Mencherini T, Della Loggia R and Tubaro A, 2007. Characterization of topical anti-inflammatory compounds in *Rosmarinus officinalis* L.. *J. Agric Food Chem*. 55:1718-1723.

Borer JS, Simon LS. 2005. Cardiovascular and gastrointestinal effects of COX-2 inhibitors and NSAIDs: achieving a balance. *Arthritis Res Ter*. Suppl 4:14-22.

BPOM RI. 2005. Fitofarmaka dan Obat Herbal Terstandar.

Butters DE Desley E, Craig KC, Ross P, Michael R, Kim D, Michael WC. 2004. Extracts of celery seed for the prevention and treatment of pain, inflammation and gastrointestinal irritation. *US Patent Document* No. 6761913. [terhubung berkala]. www.uspto.gov [20 Mei 2011].

Chien TY, Chen LG, Lee CJ, Lee FY, Wang CC. 2008. Anti-inflammatory constituents of *Zingiber zerumbet*. *Food Chem*. 110:584-589.

Cho SH. 2004. Dietary supplements and methods for treating pain and inflammation. *US Patent Document* No. 6713096. [terhubung berkala]. www.uspto.gov [20 Mei 2011].

Darusman L, Iswantini D, Rahminiwati Min. 2007. Formula sidaguri (*Sida* rhombifolia), seledri (*Apium* graveolens) dan jahe merah (*Zingiber officinal* Roscoe) sebagai obat herbal terstandar anti inflamasi/ anti rematik, Laporan Kerjasama Penelitian PSB-PT Bintang Toejoe.

Darusman L, Iswantini D, Rahminiwati Min. 2008. Formula sidaguri (*Sida* rhombifolia), seledri (*Apium* graveolens) dan jahe merah (*Zingiber officinal* Roscoe) sebagai obat herbal terstandar anti inflamasi/ anti rematik, Laporan Kerjasama Penelitian PSB-PT Bintang Toejoe.

Hargono D. 2000. Obat analgetik dan antiinflamasi nabati. *Cermin Dunia Kedokteran* 129:36-38.

Hong C.H, Hur, S.K, Oh O.J, Kim S.S,Nam K.A, Lee S.K. 2002. Evaluation of natural products on inhibition of inducible cyclooxygenase (COX-2) and nitric acid oxide syhthase (iNOS) in cultured mouse macrophage cells. *J Ethpharm*. 83:153-159.

Iswantini D and Darusman LK. 2003. Effect of Sidaguri Extracts as an Uric Acid Lowering Agent on the Activity of Xanthine Oxidase Enzyme, Proceedings of International Symposium on Biomedicines September 18, Bogor.

Iswantini D, Iskandar, Nunuk. 2004. Bioprospeksi Sidaguri (*Sida rhombifolia* L.) dan Seledri (*Apium graveolens* L.) : Formulasi Obat Gout dan Aktivitas Inhibisinya terhadap Xantin Oksidase, Laporan RUT X.

Iswantini D, Rahminiwati Min, Darusman L. 2005a. Formula ekstrak gabungan sidaguri (*Sida rhombifolia* L.) dan Seledri (*Apium graveolens* L.) sebagai obat anti gout/ anti asam urat, Laporan Riset Unggulan IPB.

Iswantini D, Rahminiwati Min, Darusman L. 2005b. Sidaguri (*Sida rhombifolia* L.) and seledri (*Apium graveolens* L.) as anti gout: *in vitro*, *in vivo* assays and bioactive compounds. *Proceedings of The international Conference on Medicinal Plants*, 5-7 Desember 2005, Kuala Lumpur.

Iswantini D, Latifah K Darusman, and Ramdan Hidayat. 2009. Indonesian *Sidaguri* (*Sida rhombifolia* L.) as antigout and inhibition kinetics of flavonoids crude extract on the activity of xanthine oxidase. Journal of Biological Sciences 9(5):504-508.

Sa'roni, Adjirni. 2000. Uji antiinflamasi infus rimpang kunci pepet (*Kaempferia rotnda* L) pada tikus putih. *Prosiding Seminar Naional TOI XVII*; Bandung, 28-30 Maret 2000.

Sheu. Sun Ten Pharmaceutical Co., Ltd., Taipe. 21 September 2004. Herbal pharmaceutical compositions for prophylaxis and/or treatment of cardiovascular diseases and the method of preparing the same. US patent 6 793 944 B2.

Silva DHS, Zhang Y, Santos LA, Bolzani VS, Nair MG. 2007. Lipoperoxidation and cyclooxygenase 1 and 2 inhibitory compounds from *Iryanthera juruensis*. *J. Agric. Food Chem*. 55:2569-2574.

Steinmeyer J. 2000. Pharmacological basis for therapy of pain and inflammation with nonsteroidal anti-inflammatory drugs. *Arthritis Res*. 2:379-385.

Thompson M, Al-Qattan KK, Al-Sawan SM, Alnaqeeb MA, Khan I, Ali M. 2002. The use of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) as a potential anti-inflammatory and antithrombcagent. *Prostagland Leukotrien Essent Fat Acid*. 67:475-478.

WHO. 2007. Chronic rheumatic condition. [terhubung berkala]. www.who.int [16 Mei 2007].

Zaugg J, Potterat O, Plescher A, Honermeier B, Hamburger M. 2006. Quantitative analysis of anti-inflammatory and radical scavenging triterpenoid esters in evening primrose seeds. *J. Agric. Food Chem*. 54:6623-6628.

APLIKASI ETEPHON UNTUK MENYEREMPAKKAN KEMASAKAN BUAH JARAK PAGAR (*Jatropha curcas* L.)

(Application of Etephon for synchronous fruit maturity of Jatropha *(Jatropha curcas L.))*

Endah R. Palupi, Memen Surachman, Kartika, Warid
Dep. Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian IPB

ABSTRAK

Salah satu kendala dalam produksi minyak jarak adalah pemasakan buah yang tidak serempak, sehingga panen harus dilakukan secara bertahap, yang meningkatkan kebutuhan tenaga kerja. Penelitian aplikasi etephon ini bertujuan untuk menyerempakkan pemasakan buah jarak pagar. Penelitian ini dilakukan di Kebun Percobaan IPB di Leuwikopo dan PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk Citeureup dari September 2009 sampai 2010. Penelitian terdiri atas dua percobaan, pertama adalah pengamatan perkembanagn buah dan biji yang dimulai dari 30 hari setelah antesis. Percobaan kedua adalah aplikasi etephon untuk menyerempakkan pemasakan buah yang dibagi dalam dua tahap. Tahap pertama etephon dengan konsentrasi 0, 200, 400, 600, 800, 1000, and 1200 ppm diaplikasikan pada buah yang berumur 40 dan 45 HAS pada musim hujan, sedang pada tahap dua etephon konsentrasi 0, 100, 200, 300, 400 ppm pada buah dengan umur yang sama pada musim kemarau. Rancangan acak kelompok digunakan pada ke dua percobaan tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa aplikasi etephon dapat dilakukan pada umur buah 40 dan 45 HSA, agar akumulasi cadangan makanan tidak terganggu. Konsentrasi etephon 200 ppm dapat mempercepat pemasakan buah pada musim hujan tanpa mempengaruhi mutu buah dan biji, sehingga buah masak lebih serempak . Pada musim kemarau aplikasi etephon pada buah yang berumur 45 HSA tidak efisien karena tidak dapat memperpendek periode pemasakan buah. Percepatan pemasakan terjadi apabila aplikasi etephon dengan konsentrasi 100 ppm dilakukan pada buah berumur 40 HSA.

Kata kunci: *Jatropha,* etephon, perkembangan biji, keserempakan masak, kadar minyak.

ABSTRACT

One of the major constraints in Atrophy oil production is asynchronous fruit ripening, therefore harvesting needs to be carried out accordingly which lead to drudgery. This study on application of etephon was designed to promote synchronous fruits ripening. The study was conducted at Leuwikopo Experimental Garden and PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk Citeureup from September 2009 to August 2010. The study consisted of two experiments. The first experiment was observation of seeds development starting from 30 day after anthesis. The second experiment aimed at determining the concentration of etephon and the time of application to synchronize fruit ripening was carried out in two stages. In the first stage 0, 200, 400, 600, 800, 1000, and 1200 ppm of etephon were applied on fruits at 40 and 45 days after anthesis during the rainy season. In the second stage 0, 100, 200, 300, 400 ppm of etephon were applied on fruits of the same maturation stages in the dry season. A randomized complete block design was used in the second experiment. The results show that etephon was best applied at 40 or 45 days after anthesis to avoid obstruction of storage reserve accumulation. Etephon 200 ppm shorten fruit maturation periode, hence more synchronous fruit maturation, in the rainy season without reducing fruit and seed quality. During the dry season application of

etephon at 45 days after anthesis was ineffective. More synchronous fruit maturation was obtained when 100 ppm etephon was applied at 40 days after anthesis.

Keywords: Jatropha, etephon, seed development, synchronous ripening, oil content.

PENDAHULUAN

Salah satu kendala dalam produksi buah jarak pagar adalah kemasakan buah yang tidak serempak dalam satu tandan. Buah muda, buah setengah tua, buah tua, buah masak dan buah lewat masak ditemukan dalam tandan yang sama sehingga pemanenan harus dilakukan secara bertahap. Pemanenan bertahap secara teknis kurang efisien karena selain memerlukan tenaga kerja yang intensif juga memerlukan pengetahuan untuk menentukan kemasakan buah yang layak dipanen, sehingga dalam kaitannya sebagai sumber bioenergi, biaya untuk produksi minyak jarak akan semakin mahal.

Keserempakan masak buah dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu penyerempakan mekar bunga betina dengan menggunakan zat pengatur tumbuh jenis sitokinin, yang telah dilakukan sebelumnya; dan penyerempakan pemasakan buah yang dilakukan dalam penelitian ini. Zat pengatur tumbuh yang sering digunakan untuk menyerempakkan kemasakan buah adalah dari golongan etilen. Ethepon, yang berbahan aktif etilen, dapat digunakan untuk menyerempakkan kemasakan buah sehingga pemanenan dapat dilakukan sekaligus terutama untuk sistem pemananenan mekanis. Penyemprotan ethephon dengan dosis 0.5 lb/ha sekitar 1–2 minggu sebelum saat panen normal, dapat meningkatkan kemasakan yang seragam pada buah nenas (Dewilde, 1970).

Penelitian aplikasi hormon etilen dalam penyerempakan waktu panen telah dilakukan pada beberapa komoditas seperti pada blueberry, tomat, paprika dan stroberi (Weafer 1972) juga pada kopi Arabica (Winston *et al*. 1992). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan konsentrasi dan waktu aplikasi ethephon yang tepat dalam meningkatkan keserempakan pemasakan buah jarak pagar dalam satu tandan serta mempelajari pengaruh aplikasi etephon terhadap mutu benih dan biji jarak pagar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di kebun koleksi jarak pagar SBRC di Leuwikopo dan kebun jarak pagar PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk Cibinong dari bulan September 2009 – Agustus 2010. Uji viabilitas dan vigor benih dilaksanakan di rumah kaca Kebun Percobaan Leuwikopo, Dramaga Bogor, sedangkan uji kandungan minyak dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Departemen Teknologi Industri Pertanian IPB.

Genotipe jarak pagar yang digunakan di kebun koleksi jarak pagar di Leuwikopo adalah tanaman jarak pagar dari beberapa genotipe yang berasal dari Nusa Tenggara Barat, Bengkulu, Sukabumi, Bogor, Banten, Makasar, Medan, Biak, Jayapura dan Bali, sedangkan tanaman jarak pagar yang di kebun jarak PT Indocement adalah genotipe Dompu. Penelitian yang dilakukan di kebun koleksi jarak pagar di Leuwikopo adalah untuk melihat perkembangan biji sejak antesis sampai buah jarak masak. Sedangkan penelitian di kebun jarak pagar PT Indocement terdiri atas dua tahap dan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial, dengan faktor pertama adalah konsentrasi etephon dan faktor kedua adalah waktu aplikasi. Konsentrasi etephon yang digunakan pada tahap pertama terdiri atas 7 perlakuan yaitu: 0, 200, 400, 600, 800, 1000 dan 1200 ppm sedangkan waktu aplikasi terdiri atas 2 perlakuan yaitu: 40 hari setelah antesis (HSA) dan 45 HSA. Dari kedua kombinasi perlakuan didapatkan 14 satuan percobaan. Masing-masing satuan percobaan diulang sebanyak 4 kali. Setiap ulangan terdiri atas 3 pohon dan dari setiap pohon dipilih 2 malai untuk diberi aplikasi etephon, sehingga total tanaman yang digunakan adalah 168 tanaman dengan jumlah malai sebanyak 336 malai. Pada tahap kedua konsentrasi etephon yang digunakan terdiri atas 5 perlakuan yaitu: 0, 100, 200, 300 dan 400 ppm dan waktu aplikasi terdiri atas 40 dan 45 HSA. Dari kedua kombinasi perlakuan didapatkan 10 satuan percobaan. Masing-masing satuan percobaan terdiri atas 4 ulangan dan setiap ulangan terdiri atas 3 pohon. Dari setiap pohon dipilih 2 malai untuk diberi aplikasi etephon, sehingga total tanaman yang digunakan adalah 120 tanaman dengan jumlah malai sebanyak 240 malai.

Dari setiap pohon ditentukan sebanyak 2 malai contoh. Malai yang terpilih dari setiap cabang yang akan diberi perlakuan etephon diberi label.

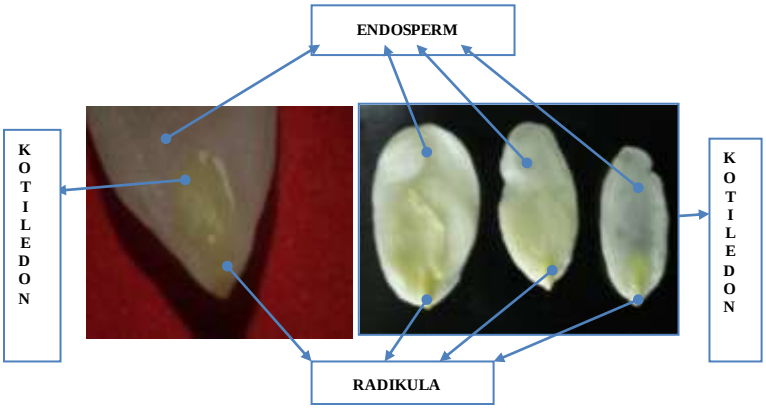
Pemberian label tersebut digunakan untuk memberi tanda waktu aplikasi ethepon setelah terbentuknya buah pada tandan. Tiap waktu aplikasi ethephon ditandai dengan warna pita yang berbeda. Etephon disemprotkan merata pada buah yang ada di tandan sesuai dengan waktu aplikasi dan konsentrasi yang sudah ditentukan. Buah jarak pagar dari setiap perlakuan dipanen pada saat berwarna kuning. Biji yang dihasilkan digunakan untuk uji viabilitas potensial (daya berkecambah dan bobot kering kecambah normal), uji vigor (keserempakan tumbuh dan kecepatan tumbuh) dan kandungan minyak.

Peubah yang diamati adalah perkembangan biji, periode kemasakan buah, ukuran buah (diameter dan panjang buah), ukuran biji (diameter dan panjang biji), bobot biji per butir, berat kering embrio-endosperm, kadar minyak, daya berkecambah, kecepatan tumbuh dan berat kering kecambah normal. Pengolahan data menggunakan uji F dengan aplikasi SAS 9.1. DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) digunakan untuk menguji beda nyata antar perlakuan pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

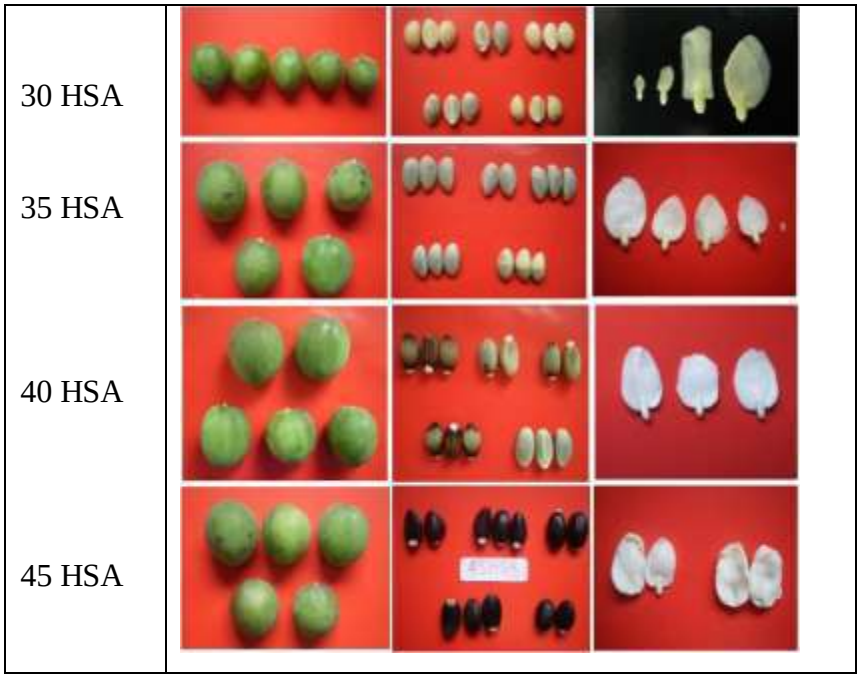
Perkembangan biji

Pengamatan terhadap perkembangan biji diperlukan untuk mengetahui waktu aplikasi etephon agar tidak menurunkan kualitas biji dan minyak yang dihasilkan. Jarak pagar yang termasuk tanaman dikotil, mempunyai endosperma yang merupakan bagian terbesar dalam biji. Dua buah kotiledon yang merupakan bagian dari embrio berupa jaringan yang tipis (Gambar 1).



Gambar 1. Embrio dan endosperm jarak pagar 30 HAS.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa endosperma mencapai maksimum sekitar 28-30 hari setelah antesis (HSA), akan tetapi perkembangan embrio tidak seragam, sehingga diperoleh ukuran yang bervariasi (Gambar 2). Pada umur 40 HSA buah mulai berwarna keabuan, dan benih mulai menghitam. Endosperma mencapai ukuran maksimum dan ukuran embrio yang terbentuk lebih seragam dengan kotiledon sebesar ukuran endisperma. Diduga buah yang mengandung embrio rudimenter sudah gugur dalam perkembangannya, karena tidak akan menghasilkan biji yang viabel. Pada 45 HSA biji sudah berwarna hitam seluruhnya. Berat kering embrio dan endosperm jarak pagar mencapai maksimum sekitar 45 HSA, yang merupakan indikasi masak fisiologis. Oleh karena itu aplikasi etephon dilakukan pada umur buah 40 dan 45 HSA, agar akumulasi cadangan makanan tidak terganggu.



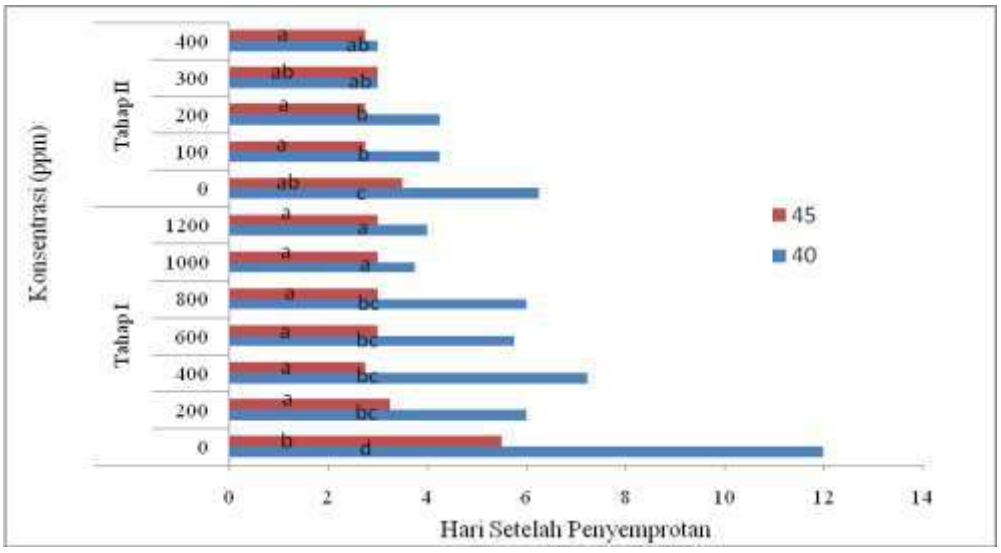
Gambar 2. Perkembangan buah, biji dan embrio jarak pagar 30-45 HAS.

Periode Pemasakan

Kondisi iklim terutama curah hujan dan suhu menyebabkan perbedaan periode pemasakan buah jarak pagar pada aplikasi tahap I dengan tahap II. Pada aplikasi tahap I dilakukan musim hujan, saat curah hujan lebih tinggi (489mm/bulan) dibandingkan pada tahap II yang dilakukan pada musim kemarau

dengan curah hujan lebih rendah (77 mm/bulan). Santoso (2008) menemukan bahwa perkembangan kapsul pada pembuahan yang terjadi pada musim kemarau memerlukan waktu yang lebih pendek dibandingkan dengan musim hujan. Pada kondisi suhu yang tinggi maka proses respirasi berjalan lebih cepat sehingga proses pematangan buah juga lebih cepat.

Pada percobaan tahap pertama, secara alami buah masak sekitar 50-52 HSA dihitung dari kontrol (0 ppm). Semua konsentrasi etephon yang diaplikasikan pada 45 HSA menunjukkan percepatan kemasakan selama dua hari, sehingga panen dapat dilakukan dalam waktu rata-rata 3 hari dibandingkan dengan kontrol dengan rata-rata 5.5 hari. Konsentrasi etephon yang diaplikasikan pada 40 HSA juga mempercepat pemasakan buah tetapi dengan respon yang lebih bervariasi (Gambar 3). Buah yang tidak diberi etephon (kontrol) pada 40 HSA memerlukan waktu 12 hari agar semua buah siap panen. Konsentrasi etephon 200, 400, 600, dan 800 ppm mempercepat pemasakan sampai sekitar enam hari, sehingga semua buah dapat dipanen dalam enam hari. Akan tetapi konsentrasi 1000 dan 1200 ppm mempercepat pemasakan sampai delapan hari sehingga buah dapat dipanen dalam 4 hari. Data ini ini menunjukkan bahwa aplikasi etephon dapat mempercepat pemasakan buah sehingga panen dapat dilakukan dengan lebih serentak.



Gambar 3. Pengaruh interaksi konsentrasi etephon dan waktu aplikasi terhadap periode pemasakan buah.

Pada percobaan tahap kedua yang dilakukan pada musim kemarau, pemasakan berlangsung lebih pendek sebagaimana ditunjukkan dari kontrol (0 ppm). Secara alami buah masak sekitar 46-48 HSA, lebih pendek daripada pemasakan pada musim hujan.

Apabila aplikasi etephon dilakukan pada 45 HSA, percepatan pemasakan tidak berbeda nyata dengan pemasakan secara alami untuk semua dosis etephon. Buah masak sekitar 48-49 HSA. Akan tetapi apabila aplikasi dilakukan pada umur buah 40 HSA, konsentrasi etephon 100 dan 200 ppm mengakibatkan pemasakan 2 hari lebih cepat (44-45 HSA) dari kontrol (46-47 HSA). Konsentrasi etephon 300 dan 400 ppm yang diaplikasikan pada buah berumur 40 HSA memperpendek pemasakan menjadi sekitar 43 HSA (Gambar 3). Data ini menunjukkan bahwa pada musim kemarau buah masak lebih serempak, yang ditunjukkan melalui periode pemasakan yang pendek. Oleh karena itu aplikasi etephon pada buah yang berumur 45 HSA tidak efisien karena tidak dapat memperpendek periode pemasakan buah. Percepatan pemasakan terjadi apabila aplikasi dilakukan pada buah berumur 40 HSA.

Santoso (2008) menyatakan bahwa pada ekotipe jarak pagar yang proses pematangan buahnya tidak serentak, lama periode pematangan dari fase matang (hijau tua/mature) menjadi masak (kuning/ripe) dan dari masak menjadi kering berkisar 7,6-11,7 hari. Tetapi dengan aplikasi etephon (konsentrasi 100-400 ppm) proses pematangan dari fase matang (hijau tua/mature) menjadi masak (kuning/ripe) dapat dipersingkat menjadi rata-rata 2.75-4.25 hari. Lebih singkatnya periode tersebut diduga karena laju respirasi yang meningkat akibat dari aplikasi etephon pada buah. Pantastico (1989) menyatakan bahwa diantara beberapa faktor eksternal yang berpengaruh terhadap laju respirasi adalah etilen dan suhu.

Ukuran Buah dan Biji

Waktu aplikasi pada percobaan tahap pertama berpengaruh nyata terhadap panjang biji tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap diameter buah, panjang buah dan diameter biji. Pada percobaan tahap kedua, waktu aplikasi hanya berpengaruh terhadap panjang buah tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap diameter buah,

diameter biji dan panjang biji (Tabel 1). Data ini menunjukkan bahwa aplikasi pada 45 HSA menghasilkan buah yang lebih besar dibandingkan aplikasi pada 40 HSA, karena pada fase pemasakan yang lebih lanjut, akumulasi cadangan makanan sudah terjadi lebih lama.

Tabel 1. Diameter buah, panjang buah, diameter biji, dan panjang biji jarak pagar pada perlakuan waktu aplikasi

Waktu Aplikasi (HSA)	Tahap I				Tahap II			
	DBh	PjBh	DBj	PjBj	DBh	PjBh	DBj	PjBj
	cm							
40	2.62	2.81	1.16	**1.83 b**	2.70	**2.90 b**	1.17	2.04
45	2.59	2.80	1.14	**1.92 a**	2.73	**2.96 a**	1.17	2.06

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5% (Uji DMRT) DBh: diameter buah, PjBh: panjang buah, DBj: diameter biji, PjBj: panjang biji

Konsentrasi etephon pada percobaan tahap pertama maupun tahap kedua tidak berpengaruh nyata pada ukuran buah (diameter dan panjang buah) maupun ukuran biji (diameter dan panjang biji). Tetapi ada kecenderungan bahwa ukuran buah dan biji pada aplikasi tahap kedua lebih tinggi dibandingkan dengan aplikasi pada tahap pertama (Tabel 2). Perbedaan ukuran buah dan biji ini diduga karena pengaruh lingkungan. Pada musim kemarau (tahap dua) intensitas cahaya matahari lebih tinggi sehingga laju fotosintesis lebih tinggi yang mengakibatkan akumulasi cadangan makanan lebih besar.

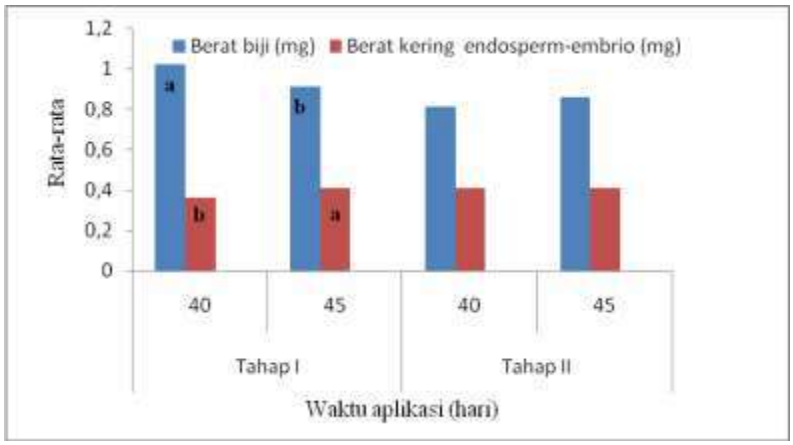
Gosh and Singh (2008) melaporkan bahwa jarak pagar yang dibudidayakan di daerah India rata-rata diameter buahnya 2.01 cm dan panjang buahnya 2.41 cm. Santoso (2009) juga melaporkan bahwa jarak pagar yang dibudidayakan di daerah Nusa Tenggara Barat mempunyai diameter buah 2.9 cm dan panjang buah (kapsul) 3.0 cm untuk ekotipe Bima. Bervariasinya ukuran buah tersebut diduga karena kondisi iklim dan cuaca yang berbeda saat perkembangan buah di masing-masing tempat budidaya. Panjang biji pada percobaan ini hampir sama dengan panjang biji yang diperoleh pada penelitian Santoso (2009) pada ekotipe Bima yaitu 1.8 cm.

Tabel 2. Diameter buah, panjang buah, diameter biji dan panjang biji jarak pagar pada perlakuan dosis etephon

	Dosis (ppm)	DBh	PjBh	DBj	PjBj
		----------cm----------			
Tahap I	0	2.61	2.78	1.16	1.89
	200	2.63	2.84	1.14	1.87
	400	2.62	2.82	1.14	1.85
	600	2.63	2.84	1.18	2.00
	800	2.53	2.74	1.16	1.83
	1000	2.60	2.82	1.14	1.90
	1200	2.59	2.80	1.14	1.84
Tahap II	0	2.72	2.90	1.18	2.03
	100	2.70	2.94	1.17	2.06
	200	2.71	2.95	1.17	2.07
	300	2.71	2.94	1.17	2.05
	400	2.71	2.97	1.17	2.03

Bobot Biji dan Berat Kering Endosperm-embrio

Waktu aplikasi etephon pada percobaan tahap pertama berpengaruh nyata pada peubah berat biji dan berat kering endosperm-embrio tetapi tidak berpengaruh nyata pada percobaan tahap kedua (Gambar 4).



Gambar 4. Rata-rata berat biji dan berat kering endosperm-embrio jarak pagar pada beberapa waktu aplikasi.

Konsentrasi etephon pada percobaan tahap pertama maupun tahap kedua, berpengaruh tidak nyata pada bobot biji dan berat kering endosperm-embrio (Tabel 3). Aplikasi etephon pada 40 HSA pada penelitian tahap pertama menghasilkan berat biji yang lebih tinggi daripada aplikasi pada 45 HSA, akan tetapi sebaliknya terjadi pada berat kering endosperm-embrio yang merupakan

hasil akumulasi cadangan makanan. Hal ini mencerminkan bahwa aplikasi pada 45 HSA memberi kesempatan pada biji untuk mengakumulasi cadangan makanan lebih banyak.

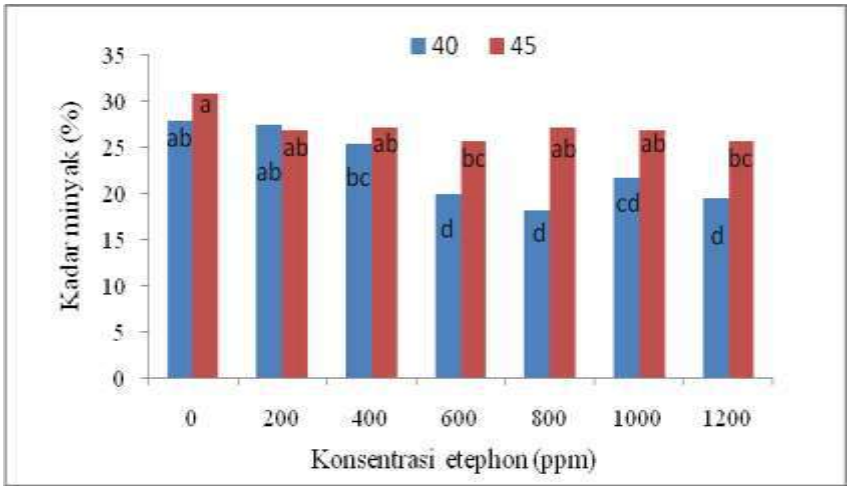
Tabel 3. Bobot biji dan berat kering endosperm-embrio jarak pagar setelah aplikasi etephon pada konsentrasi yang berbeda

Tahap I			Tahap II		
Dosis (ppm)	BBj	BK en-em	Dosis (ppm)	BBj -----mg---	BK en-em
0	0.99	0.43	0	0.85	0.41
200	0.92	0.38	100	0.85	0.43
400	0.97	0.38	200	0.84	0.38
600	1.04	0.41	300	0.78	0.40
800	0.88	0.36	400	0.85	0.44
1000	1.00	0.38			
1200	0.94	0.37			

Hasil yang tidak berbeda nyata pada percobaan tahap dua diduga karena periode pemasakan buah yang pendek sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Berat biji lebih rendah daripada percobaan tahap satu, tetapi berat kering endosperm-embrio lebih tinggi, yang mencerminkan bahwa proses pengisian biji terjadi lebih cepat.

Kadar Minyak

Minyak jarak pagar adalah produk utama yang dipanen dalam budidaya jarak pagar. Oleh karena itu kada minyak merupakan variable yang penting dalam mempercepat pemasakan. Pada percobaan tahap pertama, interaksi antara konsentrasi dan waktu aplikasi berpengaruh terhadap kadar minyak. Aplikasi etephon pada 45 HSA pada kosentrasi 200, 400, 800, dan 1000 ppm tidak menurunkan kadar minyak, yang menunjukkan bahwa fase tersebut merupakan umur yang tepat untuk aplikasi etephon dalam rangka penyerempakan pemasakan (Gambar 5). Aplikasi etephon pada 40 HSA memberikan respon yang berbeda, semakin tinggi konsentrasi etephon, semakin rendah kadar minyak yang diperoleh. Hanya konsentrasi 200 dan 400 ppm yang tidak menurunkan kadar minyak secara nyata. Data ini menunjukkan bahwa pada umur tersebut jaringan biji masih sensitive terhadap perubahan yang terjadi, sehingga gangguan terhadap akumulasi cadangan makanan mempengaruhi kadar minyak.



Gambar 5. Pengaruh interaksi konsentrasi dan waktu aplikasi etephon terhadap kadar minyak jarak pagar.

Dosis etephon di atas 400 ppm yang diaplikasikan pada buah berumur 40 HSA menyebabkan kadar minyak yang rendah (berkisar rata-rata 18.15- 21.59%) jika dibandingkan dengan perlakuan dosis dan waktu aplikasi lainnya (berkisar rata-rata 25.33-30.67%). Rendahnya kadar minyak tersebut karena pemberian dosis etephon dengan konsentrasi tinggi menyebabkan proses kemasakan lebih cepat sedangkan cadangan makanan di dalam benih belum terbentuk sempurna sehingga mempengaruhi kadar minyak yang dihasilkan.

Pada percobaan tahap dua, konsentrasi dan waktu aplikasi tidak berpengaruh nyata terhadap kadar minyak. Kadar minyak biji pada musim hujan (percobaan tahap satu) berkisar 27.8-30.7% sedikit lebih rendah daripada musim kemarau (percobaan tahap dua) yang berkisar 28.8-31.8%. Secara umum kadar minyak jarak pagar genotype Dompu mempunyai kadar minyak yang relative tinggi dibandingkan dengan genotype lain sebagaimana dilaporkan Hartono dan Wanita (2007) yang menyatakan bahwa biji jarak yang dipanen pada 50 HSA mempunyai kadar minyak setinggi 26.9%.

Daya Berkecambah, Kecepatan Tumbuh dan Berat Kering Kecambah Normal

Tabel 4 menunjukkan pengaruh interaksi antara konsentrasi dan waktu aplikasi etephon terhadap kecepatan tumbuh pada percobaan satu tidak nyata. Konsentrasi dan waktu aplikasi berpengaruh nyata terhadap berat kering

kecambah normal tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap daya berkecambah (Tabel 5). Benih yang tidak diberi perlakuan etephon (kontrol) mempunyai berat kering kecambah tertinggi (0.32 g) berbeda nyata dengan konsentrasi lainnya. Rendahnya berat kering kecambah pada buah yang mendapatkan aplikasi etephon diduga karena konsentrasi etephon yang digunakan masih tinggi sehingga mempercepat kemasakan buah, sedangkan akumulasi cadangan makanan pada biji belum optimal.

Tabel 4. Interaksi konsentrasi etephon dan waktu aplikasi terhadap kecepatan tumbuh jarak pagar (%/etmal)

Dosis (ppm)	Waktu Aplikasi (HSA)	
	40	45
0	12.30	12.35
200	12.58	12.38
400	12.22	12.36
600	13.06	12.40
800	11.76	13.22
1000	13.01	12.55
1200	13.30	11.83

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5% (Uji DMRT). HSA : hari setelah antesis

Tabel 5. Pengaruh konsentrasi etephon terhadap daya berkecambah, berat kering kecambah normal dan kecepatan tumbuh benih jarak pagar

	Dosis (ppm)	DB (%)	BKKN (mg)	KCt (%/etmal)
Tahap I	0	98.50	0.32 a	-
	200	96.50	0.26 b	-
	400	96.00	0.27 b	-
	600	99.50	0.27 b	-
	800	96.00	0.25 b	-
	1000	98.00	0.28 b	-
	1200	97.50	0.24 b	-
Tahap II	0	98.50	0.28	11.96
	100	95.50	0.26	11.46
	200	97.50	0.23	11.51
	300	93.50	0.22	11.24
	400	94.38	0.25	11.51

Pada penelitian tahap kedua, dosis tidak berpengaruh nyata pada daya berkecambah, kecepatan tumbuh dan berat kering kecambah normal. Sedangkan

waktu aplikasi juga tidak berpengaruh nyata pada daya berkecambah dan kecepatan tumbuh hanya berpengaruh pada berat kering kecambah normal (Tabel 6).

Tabel 6. Pengaruh waktu aplikasi etephon terhadap daya berkecambah, berat kering kecambah normal dan kecepatan tumbuh jarak pagar

	Waktu Aplikasi(HSA)	DB(%)	BKKN(mg)	KCt(%/etmal)
Tahap I	40	97.00	0.25 b	-
	45	97.86	0.29 a	-
Tahap II	40	96.35	0.23 b	11.51
	45	95.40	0.26 a	11.56

Daya berkecambah (viabilitas) yang dihasilkan pada penelitian ini cukup tinggi yaitu rata-rata > 90%. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Adikarsih dan Hartono (2007) yang melaporkan bahwa buah jarak pagar yang dipanen pada umur 50 hari setelah anthesis menunjukkan nilai viabilitas (86%) tidak berbeda nyata dengan viabilitas pada umur 45 hari setelah anthesis yaitu mencapai nilai viabilitas 78,67%. Kecepatan tumbuh yang dihasilkan pada percobaan ini juga lebih tinggi (rata-rata > 11%) jika dibandingkan dengan penelitian Utomo (2008) yang hanya 2.15% pada tingkat kemasakan 42 HSA, 4.51% pada tingkat kemasakan 47 HSA, dan 7.07% pada tingkat kemasakan 52 HSA. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Lestari (2010) yang melaporkan bahwa kecepatan tumbuh buah jarak pagar yang berwarna kuning sebesar 11.45%.

Tabel 6 menunjukkan bahwa aplikasi etephon pada 45 HSA menghasilkan BKKN yang lebi tinggi daripada aplikasi pada 40 HSA pada ke dua percobaan, yang mencerminkan bahwa aplikasi pada 45 HSA tidak menurunkan mutu kecambah. Akan tetapi data tersebut juga menunjukkan bahwa benih yang dipanen pada musim kemarau mempunyai cadangan makanan yang lebih rendah daripada biji yang dipanen pada musim hujan. Hal ini diduga karena periode akumulasi cadangan makanan pada musim kemarau yang lebih pendek daripada musim hujan.

KESIMPULAN

1. Waktu aplikasi etephon yang tepat untuk menyerempakkan pemasakan buah jarak pagar adalah 45 HSA, pada saat buah berwarna hijau keabu-abuan.
2. Etephon dengan konsentrasi100-200 ppm dapat menyerempakkan kemasakan buah jarak pagar dalam satu tandan.
3. Etephon dengan konsentrasi 100-200 ppm yang diaplikasikan pada buah berumur 45 HSA untuk menyerempakkan kemasakan buah tidak berpengaruh pada mutu benih dan mutu biji (ukuran buah, ukuran biji dan kadar minyak) yang dihasilkan.
4. Aplikasi etephon mempercepat pemasakan buah lebih nyata pada musim hujan daripada musim kemarau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi No. yang telah membiayai penelitian ini melalui dana Hibah Kompetetif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional No. 189/SP2H/PP/DP2M/III/2010. Terimakasih juga disampaikan kepada PT Indocement Tunggal Perkasa Tbk yang telah memberikan izin untuk menggunakan tanaman jarak pagar yang dibudidayakan di Tegal Panjang.

DAFTAR PUSTAKA

Adikarsih R, Hartono J. 2007. Pengaruh kemasakan buah terhadap mutu benih jarak pagar (*Jatropha curcas* L.). Prosiding Lokakarya II Status Teknologi Tanaman Jarak Pagar *Jatropha curcas* L., Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan. **2**:143-148.

Bondad ND. 1976. Respon of some tropical and subtropical fruit to pre and post harvest applications of ethephon. *Economic Botany* **30**: 67– 80.

Dewilde. 1970. Practical application of ethrel in agricultural production. Information Sheet. Amchem Product, Inc. Ambler.

Ghosh L, Singh L. 2008. Phenological changes in *jatropha curcas* in subhumid dry tropical environment. *Journal of Basic & Applied Biology* 2:1-8.

Hartono J dan Wanita YP.2007. Pengaruh kemasakan buah terhadap kadar minyak jarak pagar (*Jatropha curcas* L.). Prosiding Lokakarya II Status Teknologi Tanaman Jarak Pagar *Jatropha curcas* L., Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan. Vol 2: 177-180.

Lestari, YK. 2010. Pengaruh tingkat kemasakan buah terhadap perkecambahan berbagai aksesi jarak pagar (*Jatropha curcas* L.). [skripsi]. Bogor: Program Studi Pemuliaan Tanaman dan Teknologi Benih, Institut Pertanian Bogor.

Santoso, BB. 2009. Karakterisasi morfa-ekotipe dan kajian beberapa aspek agronomi jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) di Nusa Tenggara Barat [disertasi]. Bogor: Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.

Syska K. 2006. Kajian pengaruh suhu dan konsentrasi etilen terhadap perubahan fisiologi dan mutu buah pepaya varietas IPB I. [skripsi]. Bogor: Program Studi Pemuliaan Tanaman dan Teknologi Benih, Institut Pertanian Bogor.

Utomo BP. 2008. Fenologi pembungaan dan pembuahan jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) [skripsi]. Bogor: Program Studi Pemuliaan Tanaman dan Teknologi Benih, Institut Pertanian Bogor.

Pantastico Er.B (Ed). 1989. Fisiologi pascapanen, penanganan dan pemanfaatan buah-buahan dan sayur-sayuran tropica dan sub tropica. Gadjah Mada University Press.

Weafer R.J. 1972. Plant growth substances in agriculture. San Francisco. W. H. Freeman and Company. 594 p.

Winston EC, Hoult M, Howitt CJ, Shepherd RK. 1992. Ethylene-induced fruit ripening in arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32(3): 401 – 408.

PREPARASI DAN APLIKASI VAKSIN POLIVALEN AVIAN INFLUENZA H5N1 PADA UNGGAS MENGGUNAKAN PRINSIP ANTIBODI-ANTI-IDIOTIPE: *EFIKASI VAKSIN TERHADAP BERBAGAI STRAIN VIRUS AI H5N1 INDONESIA*

(Preparation and Application of Polyvalent H5N1 Avian Influenza Vaccine for Poultry Using Antibody-Anti-Idiotype: Vaccine Efficacy to Various H5N1 Indonesian Virus Strains)

I Wayan Teguh Wibawan[1)], Ketut Karuni N Natih[2)]
[1)] Dep. Ilmu Penyakit Hewan dan Kesehatan Masyarakat,
Fakultas Kedokteran Hewan IPB
[2)] Balai Besar Pengujian Obat Hewan Dirjen Peternakan, Kementerian Pertanian

ABSTRAK

Virus AI dapat dipetakan ke dalam 3 kelompok yakni: 1) Legok, 2) Subang-Konawe dan 3) Sukabumi. Secara komersial telah dibuat vaksin bi- atau polivalen yang mengandung virus AI H5N1 strain 2004-2009. Penelitian ini bertujuan untuk membuat vaksin bayangan cermin terhadap 3 jenis antigen H5 dalam PV-3 (PT. Medion Bandung) menggunakan prinsip antibodi-anti idiotipe, karakterisasinya dan efikasinya. Untuk tujuan tersebut maka marmot disuntik 2 kali (priming dan booster yang dilakukan 1 minggu setelah penyuntikan pertama) dengan vaksin komesial PV-3 yang mengandung 3 strain virus termaksud. Antibodi marmot (Ab1) 0.2 ml (2.4 mg protein/ml) yang mengandung anibodi spesifik terhadap 3 strain virus AI H5N1 2004-2009 tersebut disuntikkan (2X) ke kelinci secara intra vena dengan interval penyuntikan 1 minggu. Antibodi kelinci (Ab2) adalah bayangan cermin epitop antigen virus yang terkandung dalam PV-3. Ab2 ini selanjutnya digunakan untuk menginduksi antibodi spesifik pada ayam, yang memiliki daya netralisasi terhadap virus AI H5N1 strain Legok 2004 dan strain Sukabumi 2009 pada uji hambat aglutinasi (HI test). Antigen tiruan (antibodi-anti-idiotipe) yang dibuat dalam penelitian ini memiliki antigenisitas yang nyata lebih rendah dibandingkan dengan virus aslinya, khususnya virus AI strain Legok 2004 (2^{9-10}), meskipun masih mampu menimbulkan antibodi spesifik pada level protektif (2^3). Antigen tiruan ini mampu merangsang respon imun spesifik terhadap variasi antigen H5 dan peningkatan antigenisitas bisa diusahakan dengan melibatkan teknologi adjuvan dan imunostimulan dalam preparasi vaksinnya.

Kata Kunci : Virus AI, antigen H5, vaksin.

ABSTRACT

Avian Influenza (AI) H5N1 virus based on immuno-cartography could be devided into 3 groups, i.e. 1) Legok, 2) Subang-Konawe dan 3) Sukabumi. Commercially, bi- or tri-valent AI H5N1 vaccines are available in the market, using seed vaccine of year 2004-2009. The main aim of this research is to prepare the artificial polyvalent antigen of H5 using antibody-anti-idiotype, it's characters and eficcacy. For these, guinea pigs were vaccinated 2x, using AI H5N1 polyvalent vaccine (PV3, PT. Medion). In amount of 0.2 ml (2.4 mg protein/ml purified antibody of guinea pig) were then injected (2x, iv) to rabbits with 1 week interval of injection. Specific antibody of rabbit was an artificial antigen of polyvalent H5, and used to induce antibody in chicken which has neutralization activities to AI virus H5N1 of Legok 2004 and Sukabumi 2009. This artificial antigen is still has the ability to induce antibody in the protective level but expressed lower antigenicity (2^3) compared to it's natural virus antigens, especially for

Legok strain (2^{9-10}) using haemmagglutination inhibition test. The antigenicity of vaccine preparation might be enhanced using immunostimulant in the adjuvant preparation.

Keywords : Virus AI, antigen H5, vaccine.

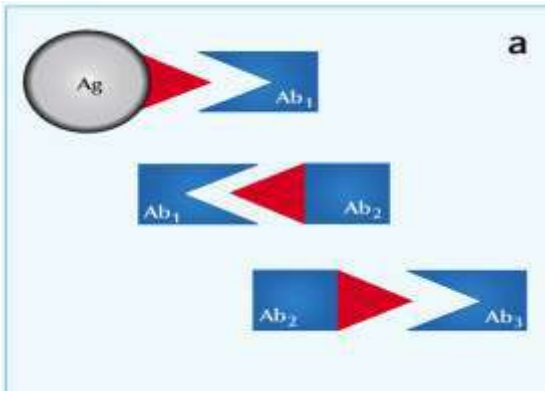
PENDAHULUAN

Virus Avian Influenza (AI), seperti virus influenza lainnya memiliki sifat yang mudah berubah secara alamiah, namun Indonesia telah memilih vaksinasi sebagai salah satu alat yang diterapkan dalam mengendalikan kasus AI pada industri perunggasan, khususnya ayam di lapangan. Pada saat ini, mungkin sulit diperdebatkan tentang perlu atau tidak perlunya vaksinasi karena penyakit ini sudah bersifat endemis di Indonesia. Keputusan untuk melarang vaksinasi dapat menimbulkan masalah yang serius di lapangan, bukan saja ancaman kasus AI tetapi juga akan terjadi penggunaan vaksin secara ilegal karena ketakutan peternak terhadap ancaman AI.

Penelitian tentang perubahan sifat virus Avian Influenza (AI) H5N1 dari tahun ke tahun telah dipantau dan dilaporkan oleh beberapa peneliti atau kelompok peneliti di Fakultas Kedokteran Hewan Institut Pertanian Bogor. Penelitian pada unggas air yang dilakukan oleh Susanti *et al.* (2008) dengan tegas menyatakan bahwa antibodi spesifik yang ditimbulkan oleh vaksin AI H5N1 menggunakan "seed vaccine" yang berasal dari isolat virus AI strain Legok 2004 tidak mampu mengenal isolat virus AI H5N1 yang diisolasi dari itik di sekitar peternakan di daerah Sukabumi dan Bogor pada tahun 2006 (Tabel 1). Mahardika dan Wibawan (2006) menyatakan bahwa harus segera dilakukan seleksi virus untuk pembuatan "seed vaccine" yang baru, karena fenomena ketidak-cocokan vaksin yang ada pada saat itu dengan virus AI H5N1 yang beredar di lapangan, baik ditinjau dari filogenetik virus AI H5N1 yang diisolasi dari rentang tahun 2004-2006, maupun dari reaksi imunologis. Pada saat itu pula telah mulai diutarakan tentang kemungkinan pembuatan vaksin polivalen atau vaksin "cock-tail" yang terdiri dari beberapa strain virus AI H5N1 yang dapat mewakili sebaran virus di Indonesia.

Antibodi Anti-idiotipe

Idiotope adalah determinan antigen tunggal pada regio variabel molekul antibodi (Fab) (Kennedy *et al.* 1983). Lokasi idiotope pada sisi pengikat antigen, pada rantai berat maupun pada rantai ringan antibodi, namun kebanyakan terletak pada rantai berat (Ban *et al.* 1994). Jerne (1985) membuat suatu teori tentang jaringan idiotipik, bahwa imunisasi dengan suatu antigen dapat menginduksi antibodi spesifik terhadap antigen (Ab_1). Antibodi yang dihasilkan dari antigen eksternal disebut antibodi idiotipe (Ab_1), antibodi yang dihasilkan oleh Ab_1 adalah antibodi anti-idiotipe (Ab_2), antibodi yang dihasilkan Ab_2 adalah antibodi anti anti-idiotipe (Ab_3), dan seterusnya, sehingga pada akhirnya dapat menginduksi terbentuknya serangkaian autoantibodi yang dapat saling mengenali satu sama lain (Gambar 1).



Gambar 1. Antigen (Ag: virus AI H5N1) jika disuntikkan pada marmot, maka marmot membentuk antibodi spesifik terhadap H5N1 (Ab1). Jika Ab1 disuntikkan pada kelinci, akan terbentuk antibodi spesifik terhadap Ab1 (Ab2). Antibodi 2 (Ab2) ini memiliki *internal image* yang menyerupai Ag (virus AI H5N1), sehingga Ab2 dapat digunakan sebagai pengganti virus AI H5N1. Antibodi 3 (Ab3) adalah antibodi ayam yang timbul akibat pemaparan Ab2 (antibodi-anti-idiotipe) yang diharapkan memiliki karakter biologis yang sama dengan Ab1 dan memiliki kemampuan menetralisasi virus AI H5N1. *(Sumber: Shoenfeld 2004, telah dimodifikasi).*

Daerah variabel (V) molekul antibodi mempunyai daerah spesifik untuk berikatan dengan antigen (paratop) dan permukaan yang mampu meningkatan produksi antibodi (idiotop). Paratop dan idiotop terletak pada tempat yang sama, maka anti-idiotipe akan meniru (*internal image*) struktur antigen melalui proses

saling melengkapi (*complementary*) dan *homobodies* (Kennedy & Attanasio 1990). Jerne (1985) membuat suatu teori tentang jaringan idiotipik, bahwa imunisasi dengan suatu antigen dapat menginduksi antibodi spesifik terhadap antigen (Ab_1).

Antibodi Anti-idiotipe Sebagai Vaksin

Vaksin Antibodi anti-idiotipe (Ab_2) sangat potensial digunakan sebagai antigen dalam serodiagnostik, preparasi vaksin atau modulasi respon imun untuk mengontrol infeksi (Zhou *et al.* 1994). Antibodi anti-idiotipe juga dapat digunakan sebagai prekusor (*priming*) di awal pembentukan sistem imun dan untuk *booster* dapat digunakan antigen aslinya. Hal ini mampu meningkatkan titer antibodi yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan penggunaan antigen asli dalam *priming*nya (Kennedy *et al.* 1984, Huang *et al.* 1988). Menurut Suartha (2001), antibodi anti-idiotipe mampu memberikan perlindungan 88.8% terhadap serangan bakteri Streptococcus Group C (SGC) ganas. Paryati *et al.* (2006) mampu menunjukkan bahwa virus Rabies dapat ditiru sifat antigenisitasnya dengan menggunakan prinsip antibodi-anti-idiotipe. Prinsip penggunaan antibodi anti-idiotipe sebagai vaksin adalah untuk 1) agen infeksius yang sangat berbahaya, 2) agen penyakit yang sulit dibiakkan, 3) menghindari penggunaan agen infeksius pada laboratorium tertentu dan 4) menghindari penggunaan agen infeksius pada kit-diagnostik (Lin & Zhou 1995, Clark *et al.* 1996, Kennedy *et al.* 1996). Vaksin antibodi anti-idiotipe juga dapat merangsang klon imun yang toleran dan tersembunyi (McNamara *et al.* 1984). Park *et al.* (2005) menggunakan konsep vaksin antibodi anti-idiotipe untuk *Neisseria meningitides* group B penyakit penyebab sepsis dan meningitis pada bayi dan balita.

Vaksin Avian Influenza

Salah satu kebijakan pemerintah dalam mengendalikan penyakit AI di Indonesia adalah vaksinasi yang berpedoman pada ketentuan Badan Kesehatan Hewan Dunia (*Office Internationale des Epizooties*/OIE). Program vaksinasi merupakan 1 (satu) dari 9 (sembilan) langkah strategi penanggulan HPAI yang diterapkan Pemerintah Indonesia sejak tahun 2004. Pada pelaksanaannya,

kebijakan vaksinasi ini diterapkan dengan : (a) menggunakan vaksin yang sudah mendapatkan registrasi; (b) pada peternakan sektor 1, 2 dan 3 dilakukan secara swadaya; (c) pada peternakan sektor 4 pengadaan vaksin dan operasional vaksinasinya dibantu pemerintah; dan (d) program vaksinasi dilaksanakan dengan mengikuti SOP (Standar Operasional Prosedur) Pengendalian AI yang telah ditetapkan (Ditjennak 2008).

Tujuan dan Manfaat Penelitian

Untuk memperoleh IgG polivalen terhadap ketiga strain virus AI, marmot disuntik dengan vaksin yang mengandung ke 3 jenis virus AI tersebut. Fraksi Fab IgG marmot dimurnikan dan disuntikkan pada kelinci untuk menginduksi IgG (antibodi-anti-idiotipe) yang memiliki variasi antigenisitas ke 3 virus AI yang digunakan (Ab2). IgG kelinci (Ab2) berkhasiat vaksin ini selanjutnya digunakan untuk mengimunisasi 10 ekor ayam SPF, setelah *booster* dilakukan pengujian respon titer antibodi spesifik terhadap ke 3 strain virus. Efikasi vaksin idiotipe ini dilakukan dengan uji tantang menggunakan 3 strain virus terhadap ayam SPF yang sebelumnya telah diimunisasi menggunakan vaksin idiotipe ini. Penelitian ini diharapkan menghasilkan vaksin anti-idiotipe H5N1 yang mampu menginduksi antibodi yang cocok dengan virus AI H5N1strain 2004 (Legok) hingga strain 2009 (Nagrak-Sukabumi). Vaksin ini diharapkan bisa digunakan secara efektif di lapangan dan mampu menghindarkan mortalitas pada ayam yang divaksin apabila ayam tersebut ditantang dengan virus HPAI H5N1 strain 2009.

METODE PENELITIAN

Hewan Percobaan

Penelitian ini menggunakan marmut (*Cavia porcellus*) dengan berat badan 300-400 gr untuk produksi antibodi poliklonal AI H5N1 (Ab_1) terhadap ke strain virus AI (strain Legok, Subang-Konawe dan Sukabumi); kelinci *New Zealand White* dengan berat badan berat 2.5 kg untuk preparasi antibodi terhadap Ab_1 atau antibodi anti-idiotipe (Ab_2); ayam layer strain umur 4 minggu untuk produksi antibodi terhadap Ab_2 (Ab_3).

Vaksin dan Antigen Virus AI H5N1

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah vaksin *Avian Influenza* (AI) H5N1 inaktif PV-3 yang terdiri dari 3 strain H5N1 (PT Medion). Sebagai antigen digunakan antigen virus AI H5N1 yang dikontruksi dengan teknik reverse genetic (RG) H5N1 strain Legok 2004 dan RG H5N1 strain Sukabumi 2009 (PT. IPB-Shigeta), serta serum ayam yang telah diinduksi dengan antigen mono valen RG-IPB Shigeta 2004 (MV 2004) dan anigen mono valen RG-IPB Shigeta 2009 (MV 2009).

Produksi Antibodi Poliklonal *Avian Influenza* H5N1 (Ab_1)

Produksi antibodi poliklonal AI H5N1 dilakukan pada 4 ekor marmut dengan berat badan 350-400 gram. Imunisasi dilakukan dengan menyuntik satu dosis vaksin AI H5N1 inaktif strain Legok, Subang dan Sukabumi (0,5 ml) secara subkutan. Penyuntikan diulang sebanyak 3 kali dengan interval 3 minggu. Keberadaan antibodi dideteksi dengan uji hambatan hemaglutinasi (*Hemaglutination Inhibition*/HI) (WHO 2002, OIE 2005) dan uji agar gel presipitasi (*Agar Gel Precipitationt*/AGP).

Pemurnian Imunoglobulin G marmot Anti AI H5N1 (Ab_1)

Pemurnian Imunoglobulin G (IgG) AI H5N1 dari serum marmut (Ab_1) dilakukan dengan menggunakan matriks protein A *S. aureus* yang telah dipreparasi sebelumnya. Serum marmut di saring dengan menggunakan *steriflip GP filter* 0,22 µm, selanjutnya sampel serum dilarutkan dengan PBS (*phophat buffer saline)* dengan perbandingan 1:1 v/v, lalu dimasukkan kedalam kolom matriks protein A) dan dibilas dengan PBS dan dielusi dengan 0.1 M Glycine HCl , pH 2.5. Larutan eluat ditampung dan dan dinetralkan dengan 0.1 N NaOH sehingga pH mencapai 7.5. Eluat dikonsenrasikan dengan cara menarik cairan menggunakan PEG 6000. Reaksi spesifik IgG terhadap virus AI H5N1 dilakukan dengan uji AGP. Antibodi anti-idiotipe (Ab_2) disiapkan dengan cara menyuntik kelinci dengan Ab_1 ($F(ab)_2$). Produksi Ig G menggunakan 3 ekor kelinci *New Zealand White* berat 2.5 kg. Dua ekor kelinci diimunisasi dengan 500 ug Ab_1

H5N1 dalam secara *intra vena* dan satu ekor kelinci sebagai kontrol. Imunisasi ulangan dilakukan satu minggu berikutnya dengan menyuntikkan 500 µg Ab_1. Satu minggu kemudian serum dikoleksi dan identifikasi keberadaan Ab_2 H5N1 dengan uji AGP. Pemurnian imunoglobulin G (IgG) AI H5N1 dari serum kelinci (Ab_2) dilakukan dengan menggunakan matriks protein A yang telah dibuat sebelumnya, seperti yang dipaparkan 4.3.1.2. Reidentifikasi IgG kelinci dilakukan dengan uji AGP. Imunisasi Antibodi Anti-idiotipe (Ab_2) pada ayam dilakukan untuk mendeteksi terbentuknya antibodi terhadap Ab_2. Antibodi yang diperoleh dari serum ayam merupakan antibodi anti anti-idiotipe (Ab_3). Antibodi ini diharapkan mempunyai karakteristik serologis sama dengan antibodi dari serum marmut (Ab_1), sehingga mampu bereaksi homolog dengan Ab_2 maupun dengan antigen virus AI.

Uji Tantang Menggunakan Embrio Ayam dalam Telur Tertunas

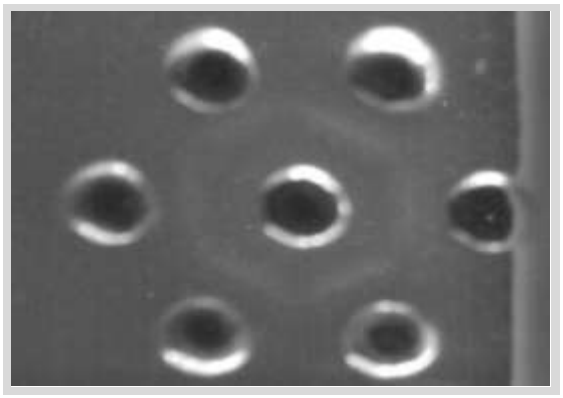
Virus tantang yang digunakan dalam uni ini adalah virus AI H5N1 strain Sukabumi terbaru yang diisolasi dari spesimen yang diperoleh dari kasus klinis AI pada ayam pada akhir tahun 2009. Karakterisasi dilakukan dengan RT-PCR menggunakan primer spesifik (320 bp, Slomka *et al*. 2007). Uji tantang dilakukan pada menggunakan 2 kelompok embrio ayam, masing-masing menggunakan10 butir telur tertunas. Kelompok I adalah telur berembrio yang ditantang dengan virus AI H5N1 strain Sukabumi 2009 dan kelompok II ditantang dengan virus yang tidak dinetralkan. Setelah inokulasi virus, pemantauan dilakukan terhadap mortalitas embrio.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Antibodi Vaksin Polivalen AI H5N1 pada Marmot

Sesuai jadwal vaksinasi dilakukan pada 5 ekor marmot dewasa (berat 700 g), menggunakan 1 ml vaksin dan diulang 3 minggu kemudian dengan dosis yang sama, sesuai rekomendasi pabrik. Dua minggu setelah penyuntikan ke dua, serum dipanen dan dilakukan pengujian terhadap keberadaan antibodi menggunakan uji agar gel immunodifusi (AGPT). Kedua serum marmot menunjukkan reaksi

spesifik dengan antigen AI Legok 2004 dan strain Sukabumi 2009 pada AGPT, ditunjukkan dengan adanya garis presipitasi antara antigen virus dan serum marmot. Reaksi positip pada AGPT mengisyaratkan bahwa titer antibodi spesifik cukup tinggi dalam serum marmot (Gambar 2).



Gambar 2. Reaksi spesifik antara antigen virus AI H5N1 (tengah) dengan antibodi dalam serum marmot (melingkar). Reaksi spesifik ditandai oleh adanya garis presipitasi.

Titer antibodi AI pada serum marmot ditentukan dengan menggunakan uji HI. Titer antibodi spesifik diperoleh dengan nilai 2^4 (16) saat pengujian dilakukan satu minggu post vaksinasi terakhir dan nilai titer meningkat menjadi 2^9 pada pengujian 2 minggu post vaksinasi terakhir. Antigen yang digunakan dalam uji HI ini adalah antigen (Reverse Genetic/RG) virus strain Legok AI H5N1 2004. Titer anibodi nilainya lebih rendah yaitu 2^6 bila menggunakan antigen virus (RG) strain Sukabumi AI H5N1 2009 atau campuran kedua antigen tersebut (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai titer antibodi spesifik terhadap antigen virus (RG) AI H5N1 strain Legok 2004 dan antigen virus (RG) AI H5N1 strain Sukabumi 2009 dan campurannya.

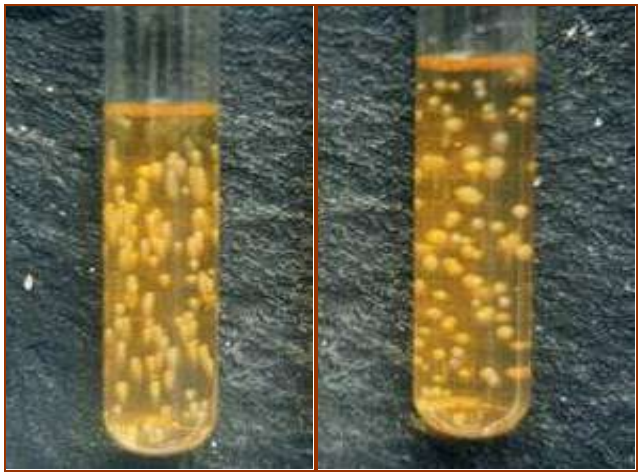
No	Antigen Virus AI H5N1	Titer antibodi H5N1 dlam serum marmot yang dipapar dengan vaksin polivalen H5N1 (PV-3)	
		1 mg post aksinasi	2 mg post vaksinasi
1.	Antigen RG-2004	2^{4*}	2^9
2.	Antigen RG-2009	2^4	2^6
3.	Antigen campuran 1 dan 2	2^4	2^6

Keterangan : * dua kali ulangan

Nilai titer pada Tabel 1 menunjukkan bahwa preparat vaksin AI yang dikemas dalam bentuk vaksin polivalen inaktif mampu menginduksi produksi antibodi spesifik terhadap virus AI H5N1 dan memiliki nilai titer yang tinggi. Tubuh hewan yang divaksin mampu berespon terhadap vaksin dengan baik. Kestabilan nilai titer juga teramati meskipun antigen dikemas dalam bentuk campuran. Data ini memberikan peluang dan prospek yang baik untuk preparasi vaksin AI yang mengandung berbagai strain yang dikemas dalam bentuk *cock-tail vaccine* atau dalam bentuk polivalen.

Isolasi IgG Marmot Menggunakan Matriks *S. aureus* yang Memiliki Protein A

Untuk tujuan ini dibuat matriks bakteri utuh *Staphylococcus aureus* inaktif yang mengandung protein A. Keberadaan protein A pada *S. aureus* digunakan teknik serum soft agar. Dari pemantauan pertumbuhan koloni pada serum soft agar menggunakan serum kelinci normal, maka dapat ditentukan dan dipilih *S.aureus* (*S.a. 15*) sebagai matriks (Gambar 3).



Gambar 3. Isolat *S. aureus* 15, yang mengandung protein A digunakan sebagai matriks untuk pemurnian IgG marmot.

Matriks dibuat dengan menginaktifkan 15 ml suspensi bakteri (10^9 c.f.u/ml, setara dengan fotometrik Transmisi 10%, pada panjang gelombang 620 nm) dengan pemanasan 60^{o}C selama 1 jam dalam penangas. Setiap 5 ml serum marmot dapat dimurnikan dan dielusi 5 ml antibodi (imunoglobulin) yang

mengandung 2,4-4,6 mg/ml). Antibodi hasil pemurnian ini (Ab-1) digunakan untuk menginduksi antibodi-2 (Ab-2) pada kelinci yang berfungsi sebagai vaksin anti-idiotipe. Selanjutnya produksi Ab-2 pada kelinci dilakukan dengan menginduksi kelinci menggunakan Ab1. Ab2 ini berfungsi sebagai vaksin anti-idiotipe, yang mampu menginduksi antibodi 3 (Ab-3) pada ayam yang memiliki sifat netralisasi seperti Ab-1, terhadap virus AI H5N1.

Antigenisitas Antigen Anti-idiotipe dibandingkan dengan Vaksin AI

Antigenisitas antigen anti-idiotipe dibandingkan dengan antigen yang dipreparasi dari virus alamiah dengan cara melihat respon pembentukan antibodi yang terbentuk pada ayam yang dipapar oleh masing-masing antigen. Respon kebal spesifik dapat ditimbulkan oleh antigen anti-idiotipe maupun oleh antigen virus alam, namun respon kebal yang ditimbulkan oleh antigen anti-idiotipe lebih lemah dibandingkan dengan respon oleh antigen virus alam (Tabel 2 dan Tabel 3).

Tabel 2. Hasil titrasi serum ayam yang diinduksi dengan antibodi-antiidiotipe (Ab2) dibandingkan dengan ayam yang diinduksi dengan vaksin menggunakan virus AI H5N1 inaktif.

No	Antigen Virus AI H5N1	Titer antibodi spesifik-anti idiotipe	Titer antibodi spesifik-vaksin PV-3 AI H5N1
1.	Antigen RG-2004	2^{3*}	2^{9}
2.	Antigen RG-2009	2^{4}	2^{6}
3.	Antigen campuran 1 dan 2	2^{3}	2^{6}

Keterangan : * dua kali ulangan

Hasil titrasi antibodi spesifik dalam serum ayam menunjukkan nilai yang lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil induksi vaksin menggunakan vaksin virus H5N1 polivalen untuk kedua antigen yang digunakan. Meskipun demikian titer antibodi yang ditunjukkan oleh pemaparan vaksin idiotipe masih mampu menginduksi titer antibodi pada tingkat protektif, yakni 2^3 menurut ketentuan OIE, namun hal ini perlu dipertegas dan dikuatkan dengan melakukan uji tantang. Konsep "bayangan-cermin" dalam pembuatan vaksin, khususnya bagi antigen

yang sulit dibiakkan dan mengandung resiko masih perlu dikaji lebih mendalam. Kajian bukan saja mengeksplorasi konsep, tetapi kajian teknis terhadap teknologi pembuatan vaksin, yang anara lain meliputi: teknologi adjuvan, imunostimulator, tahap-tahap preparasi, pengemasan dan studi konformasi material yang dikemas dalam vaksin tersebut, sehingga vaksin yang dikemas dengan teknik anti-idiotipe ini memiliki antigenisitas yang tinggi, yang sekurang-kurangnya mampu menyamai vaksin virus alamiahnya. Pada Tabel 3 dipaparkan tentang perbandingan titer antibodi hasil induksi vaksin anti-idiotipe dengan titer antibodi yang dihasilkan dari paparan vaksin AI alamiah yang dibuat secara polivalen maupun monovalen menggunakan srain virus AI H5N1 yang diisolasi tahun 2004 dan tahun 2009. Titer antibodi ayam yang diinduksi dengan vaksin anti-idiotipe jauh lebih rendah (2^3) dengan titer antibodi hasil induksi menggunakan vaksin alamiah (2^{10-11}). Hal ini menunjukkan bahwa antigen tiruan/bayangan virus AI memiliki antigenisitas yang lebih rendah dibandingkan dengan virus alamnya, perbedaan antigenisitas ini dapat disebabkan karena perbedaan konformasi epitop antara kedua anigen tersebut. Hasil yang serupa ditunjukkan oleh Paryati *et al*. (2006) dan Suartha *et al*. (2001). Penggunaan prinsip anti-idiotipe untuk preparasi vaksin AI masih memiliki nilai lebih (*added value*) bila dipandang dari sisi keamanan proses pembuatannya dan masih memerlukan kajian yang mendalam untuk sifat antigenisitas dan imunogenisitasnya.

Tabel 3. Hasil titrasi serum ayam yang diinduksi dengan antibodi-antiidiotipe dibandingkan serum ayam yang diinduksi dengan vaksin AI H5N1 2004 dan 2009.

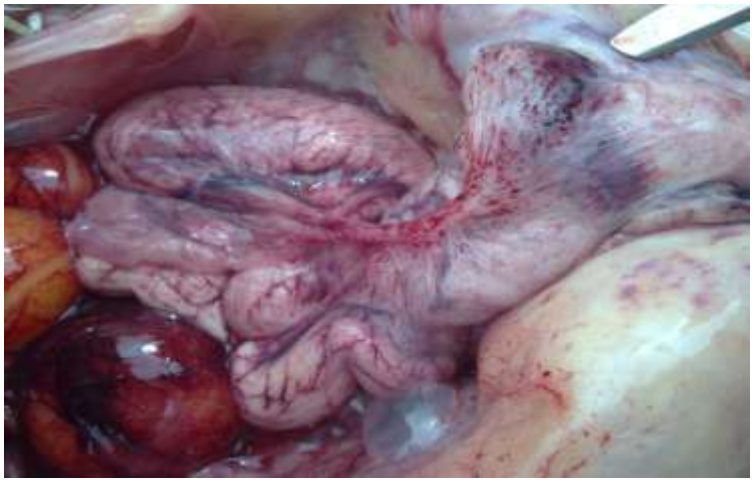
No	Antigen Virus AI H5N1	Titer Antibodi pada serum ayam hasil induksi vaksin H5N1:			
		Anti-idiotipe*	PV-3	MV-2004	MV-2009
1.	Antigen RG-2004	2^{3*}	2^{9}	2^{11}	2^{10}
2.	Antigen RG-2009	2^{3}	2^{6}	2^{2}	2^{5}

Keterangan : Anti-idiotipe adalah Ab2 hasil induksi kelinci menggunakan Ab1 yang spesifik terhadap H5N1 , PV adalah vaksin polivalen H5N1 yang dibuat dari virus H5N1 Tahun 2004 dan 2009, MV-2004 adalah vaksin monovalen H5N1 Tahun 2004 dan MV-2009 adalah vaksin monovalen H5N1 tahun 2009.
* dua kali ulangan

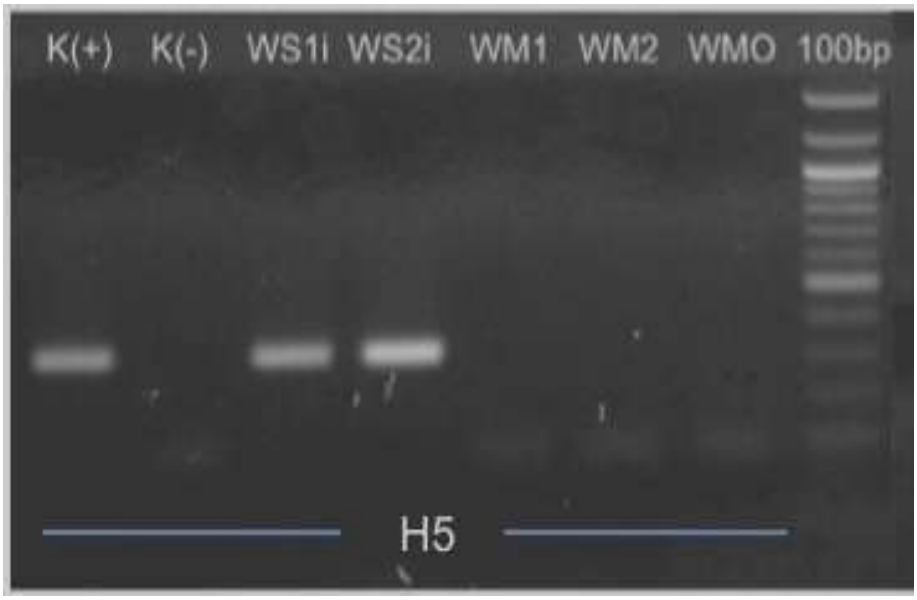
Strain virus AI H5N1 strain Sukabumi yang diisolasi pada akhir tahun 2009 memiliki epitop antigen H5 yang berbeda dengan epitop antigen virus AI strain Legok 2004 secara serologis. Hal ini ditunjukkan oleh perbedaan titer serum ayam MV-2004 dengan nilai 2^2 dengan antigen RG-2009 dan 2^{11} dengan antigen RG-2004. Fenomena unik teramati pada reaksi serum MV-2009 yang menunjukkan titer sangat tinggi terhadap antigen RG-2004 (2^{10}) dan terhadap antigen homologinya menunjukkan titer yang lebih rendah (2^5). Reaksi serologis ini memberikan indikasi bahwa "back-bone" antigen H5 masih mengacu pada strain virus AI Legok 2004. Fenomena ini teramati pula pada pengujian titer antibodi dalam serum ayam di lapangan, bahwa antibodi yang terbentuk akibat induksi antigen virus AI "baru" menunjukkan titer yang lebih tinggi bila diadu dengan antigen virus AI Legok 2004 dibandingkan dengan antigen homologinya, tetapi antibodi yang diinduksi dengan antigen virus AI Legok 2004 tidak dikenal oleh antigen virus AI yang "baru", khususnya yang diisolasi dari wilayah Nagrak Sukabumi. Fenomena ini belum dapat dijelaskan secara jelas dilihat dari sisi imunologis. Hal ini diduga karena adanya perbedaan struktur 3 dimensi antara kedua antigen tersebut. Fenomena ini secara hipotetik dapat pula terjadi karena adanya "partial identity" antara ke dua antigen tersebut, yaitu antigen H5 virus AI 2009 memiliki struktur yang lebih lengkap dibandingkan dengan antigen H5 virus AI 2004.

Isolasi Virus AI H5N1 dari Kasus Lapang untuk Uji Tantang (Netalisasi)

Isolasi virus AI H5N1 dilakukan pada telur berembrio dari kasus lapang yang terjadi pada ayam bibit pedaging di daerah Sukabumi. Gejala klinis dan patologis yang ditunjukkan oleh ayam yang terserang adalah kematian mendadak disertai dengan gejala perdarahan yang sangat hebat pada organ-organ tubuh yakni perdarahan pada ovarium, oviduct (rahim), lemak visceral, ginjal, jantung, penggantung usus, jantung, trachea dan otot (Gambar 4). Keberadaan mateial genetik virus pada usap kloaka dan trakhea dilakukan dengan cara RT-PCR, menggunakan primer spesifik hemaglutinin (H5) dan dari spesimen yang menunjukkan reaksi positip pada uji PCR dapat diisolasi virus AI H5N1 (Gambar 5).



Gambar 4. Perdarahan yang sangat hebat dijumpai pada berbagai organ tubuh ayam bibit pedaging akibat serangan virus HPAI H5N1.



Gambar 5. Material genetik virus dapat dideteksi dengan RT-PCR menggunakan primer spesifik terhadap penyandi H5 (320 bp, Slomka et al. 2007) pada sampel WS1i dan WS2i, sedangkan reaksi negatip untuk sampel WM1, WM2 dan WMO. Sebagai kontrol positip digunakan virus AI H5N1 yang telah diketahui sebelumnya (K+) dan kontrol negatip digunakan virus ND (K-).

Uji Tantang untuk Mengetahui Patogenitas Virus AI FKH IPB 2009

Isolat virus AI H5N1 FKH IPB 2009 ini memiliki patogenitas yang sangat tinggi karena dalam kurun waktu 24 jam, dengan dosis 4.0 ELD_{50}/ml diaplikasikan secara intra muskular, mampu membunuh 100% ayam (10 ekor)

yang tidak memiliki kekebalan terhadap AI pada penelitian yang dilakukan terpisah bekerja-sama dengan industri obat hewan dan industri unggas komersial (data lengkap tidak ditampilkan). Penyakit berjalan sangat akut, pemeriksaan patologis anatomis 2 ekor ayam dari 10 ekor yang mati ditemukan perdarahan yang sangat hebat pada trakhea, otot paha, perikardium, daun peyer dan tonsil-sekum. Penimbunan lendir pada saluran pernapasan dapat ditemukan dan meyebabkan ganguan pernapasan yang sangat berat pada ayam yang terinfeksi.

Virus ini memiliki jarak genetis dan respon imunologis yang sangat jauh dengan virus AI H5N1 strain Legok 2004 (Wibawan dan Setyaningsih, 2010)(siap publikasi). Uji pendahuluan menunjukkan bahwa virus AI H5N1 FKH IPB ini hanya mampu dihambat infeksinya jika di dalam serum ayam tersebut terdapat antibodi spesifik terhadap virus AI H5N1 strain Sukabumi 2009 dengan titer minimal 2^4 dengan dosis virus tantang 4.0 ELD_{50}/ml diaplikasikan secara intra muskular. Daya lindung antibodi yang bisa dicapai maksimal 80% (2 ekor ayam mati dari 10 ekor yang ditantang) namun masih dijumpai beberapa ekor ayam yang bertahan hidup mengalami kelesuan, penurunan nafsu makan dan stress yang jelas. Virus ini selanjutnya akan digunakan sebagai virus tantang dalam uji netralisasi pada penelitian yang lebih rinci dan lengkap.

KESIMPULAN

Antigen anti-idiotipe mampu menginduksi antibodi spesifik terhadap virus AI H5N1, meskipun titer antibodi yang ditimbulkan lebih rendah dibandingkan dengan titer antibodi yang diinduksi oleh vaksin yang dibuat dari virus alam. Prospek pembuatan vaksin anti-idiotipe masih memiliki arti dipandang dari sisi keamanan proses preparasi vaksin yang berasal dari agen yang sangat berbahaya atau agen yang sulit ditumbuhkan. Perlu dilakaukan penelitian yang lebih mendalam terhadap peningkatan antigenisitas antigen anti-idiotipe dengan penggunaan adjuvan tertentu dan bahan imunostimulan dalam racikan vaksin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi DIKNAS dan IPB yang telah membiayai penelitian ini melalui DIPA IPB 2010.

DAFTAR PUSTAKA

Ban N *et al.* 1994. Crystal structure of idiotype-anti-idiotype Fab complex. *Proc Natl Acad Sci USA* 91: 1604-1608.

Capua I, Marangon S. 2007. Control and prevention of avian influenza in an evolving scenario. *Vaccine* 25:5645-5652.

Clark GDB, MacKay RJ, Ward RE, Sheerin B. 1996. Effect of vaccination of ponies with A4 anti-idiotypic antibody on serum idiotype (IC9) and antilipid a concentration. *Am J Vet Res* 57: 665-658.

[DITJENNAK] Direktorat Jendral Peternakan. 2007. *Farmakope Obat Hewan Indonesia*. Jilid I (Sediaan Biologik). Ed ke-3. Jakarta: Direktorat Jenderal Peternakan Departemen Pertanian RI.

[DITJENNAK] Direktorat Jendral Peternakan. 2008. *Prosedur Operasional Standar Pengendalian Penyakit Avian Influenza*. Jakarta: Direktorat Jenderal Peternakan Departemen Pertanian.

[DITJENNAK] Direktorat Jendral Peternakan. 2009. Rekomendasi kebijakan vaksin dan strategi vaksinasi AI. Jakarta: Direktorat Jenderal Peternakan Departemen Pertanian.

Field A. 2005. *Discovering Statistics Using SPSS*. London: Soge Publication Ltd.

Hames BD, Rickwood D. 1987. *Gel Electrophoresis of Protein*. Oxford, Washington DC: IRL Press.

Huang JY, Ward RE, Kohler H. 1988. Biologycal mimicry of antigenic stimulation: Analysis of the in vivo antibody responses induced by Monoclonal Anti-Idiotypic Antibodies. *Immunol* 68:1-8.

Jerne NK. 1985. The generative grammar of the immune system. *Science* 229:1057 -1059.

Kennedy RC, Storthz KA, Henkel RD, Dreesman GR. 1983. Characteristics of shared idiotype by two IgM anti-herpes simplek virus monoclonal antibodies that recognize different determinants. *J Immunol* 130:1943-1946.

Kennedy RC, Sparrow JT, Sanchez Y, Melnick L, Dreesman GR. 1984. Enhancement of viral hepatitis B antibody (Anti HBs) response to a synthetic cyclic peptide by priming with anti-idiotype antibodies. *Virology* 136:247-252.

Kennedy RC, Attanasio R. 1990. Concepts of idiotype-based. Vaccines for Hepatitis B virus and human immunodefficiency Virus. *Can J Microbiol* 36:811-816.

Kennedy RC, Shearer MH, Chanh TC, Jenson HB, Stanley JR. 1996. Molecular and structural characterization of antibodies to Hepatitis B surface antigen: developing a non-human primate model to evaluate maternal therapeutic vaccination strategies during pregnancy. *Antiviral Therapy* 1:76-83.

Lin M, Zhou EM. 1995. Internal image rabbit anti-idiotypic antibody detects sheep antibodies to the Bluetongue virus core protein VP7. *Immunotechnol* 1:151-155.

Maas R, Tacken M, Zoelen D, Oie H. 2007. Dose response effects of Avian Influenza (H7N7) vaccination of chickens: serology, clinical protection and reduction of virus excretion. *Vaccine* 27:3592-3597.

McNamara MKRE, Ward RE, Kohler H. 1984. Monoclonal idiotipe vaccine against *Streptococcus pneumoniae* infection. *Science* 226:1325-1326.

[OIE] Office International des Epizooties. 2004. OIE Manual of Standard for Diagnostic Test and Vaccines. Ed ke-4. Paris: OIE.

[OIE] Office International des Epizooties. 2005. Avian Influenza. Chapter 2.7.12. Manual of Diagnostic Test and Vaccines for Terrestrial Animals. Paris: OIE.

Park IH *et al.* 2005. Anti-idiotypic antibody as a potential candidate vaccine for *Neisseria meningitidis* serogroup B. *Infec Immun* 73:6399-6406.

Paryati SPY, Wibawan IWT, Soejoedono RD, Pasaribu FH. 2006. Imunoglobulin ayam sebagai antibodi anti-idiotipe terhadap rabies. *J Vet* 7:92-103.

Suartha IN, Priosoeryanto BP, Utama IW, Wibawan IWT. 2001. Penggunaan antibodi anti-idiotipe sebagai vaksin terhadap Streptokokosis. *J Vet* 2(4): 1-4

Susanti R, Soejoedono RD, Mahardika IGNK, Wibawan IWT, Suhartono MT. 2008. Filogenetik dan struktur antigenik virus Avian Influenza subtipe H5N1 isolat unggas air. *J Vet* 9: 99-106.

[WHO] World Health Organization. 2002. WHO Manual on Animal Influenza. Diagnosis and Surveillance. Geneva: WHO.

Zhou EM, Afshar A, Heckert RA, Nielsen K. 1994. Anti-Idiotypic antibodies generated by sequential immunization detect the share idiotype on antibodies to Pseudorabies virus antigens. *J Virol Methods* 48:301-313.

SELEKSI POPULASI BC2F2 HASIL SILANGAN IR64/HAWARA BUNAR MELALUI PENDEKATAN MARKER ASSISTED BACKCROSSING (MAB) DAN PRODUKSI GENERASI BC2F3 TOLERAN AL UNTUK MENGEMBANGKAN GALUR PADI GOGO TOLERAN AL (15 PPM)

(Selection of Rice BC2F2 Population through Marker Assisted Backcrossing Approach and Production of Al-tolerant BC2F3 Generation to Develop Al-tolerant Upland Rice Lines (15 ppm))

Miftahudin[1)], Andik Wijayanto[1)], Tatik Chikmawati[1)], Dwinita W. Utami[2)], Ida Hanarida[2)]

[1)] Dep. Biologi Fakultas Matematika dan IPA IPB

[2)] Balai Besar Biogen, Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian

ABSTRAK

Usaha pertanian tanaman padi pada tanah asam akan menemui kendala terutama kelarutan aluminium (Al) yang tinggi dan dapat menjadi racun bagi tanaman. Oleh karena itu memerlukan varietas padi yang toleran Al, yang dapat dikembangkan melalui pemuliaan dibantu dengan aplikasi marka molekular. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan seleksi populasi silang balik (BC2F2) hasil persilangan padi var. IR64 (sensitif Al) dan Hawara Bunar (toleran Al) dengan pendekatan *marker assisted backrossing* (MAB) untuk memperoleh galur padi toleran Al. Dari penelitian ini telah didapatkan marka-marka molekular terpaut erat dengan QTL untuk sifat toleransi Al pada padi. Disamping itu juga telah diperoleh tanaman BC2F1 yang rekombinan terhadap marka-marka tersebut. Tiga populasi BC2F2 hasil dari BC2F1 tersebut telah diseleksi berdasarkan karakter toleransi Al dan diperoleh satu populasi yang bersegregasi untuk karakter toleransi Al dengan rasio segregasi toleran:sensitif Al ~ 3:1 dan berasal dari BC2F1 dengan genotipe marka RM2790 dan RM14535 yang heterozigot. Gen-gen utama untuk toleransi Al diduga ada di antara kedua marka tersebut. Hasil seleksi *foreground* dengan marka terpaut QTL menghasilkan 10 tanaman toleran Al yang membawa alel homozigot RM2790 dari Hawara Bunar dengan marka di sekitarnya membawa alel-alel IR64 homozigot. Tanaman toleran Al tersebut ditanam di rumah kaca dan telah menghasilkan biji BC2F3 yang siap untuk analisis selanjutnya.

Kata kunci: *A*luminium, toleran, *QTL*, padi, *MAB*.

ABSTRACT

Rice cultivation on acid soil will face several constraints mainly high aluminum (Al) solubility that toxic for plant. Therefore, it requires Al-tolerant rice variety that can be developed through marker assisted breeding. The research objective is to select the rice BC2F2 population developed from the cross between rice var. IR64 (Al-sensitive) and Hawar Bunar (Al-tolerant) through marker assissted backcross (MAB) selection to obtain Al-tolerant rice lines. This research found molecular markers linked to Al-tolerance QTL in rice and obtained recombinant BC2F1 plants for those linked markers. Three BC2F2 populations derived from those BC2F1 was selected based on Al tolerance character and gained one BC2F2 population that segregated for the character with the ratio of Al-tolerant : -sensitive ~ 3:1 and was derived from BC2F1 with heterozygous genotype for RM2790 and RM14535 markers. It was expected that the mayor Al-tolerace genes reside in between both markers. Forground selection using markers linked to Al tolerance QTL on that BC2F2 population found 10 Al-tolerant plants that carried homozygous alel of

RM2790 from Hawara Bunar with the surounding markers being homozygous alleles for IR64. Those Al-tolerant plants are planted in the green house and have produced BC2F3 seeds that are ready for further analysis.

Keywords : Aluminum, tolerant, QTL, rice, MAB.

PENDAHULUAN

Kemampuan lahan sawah di Indonesia untuk memproduksi padi cenderung terus menurun dengan menurunnya luas sawah seiring dengan semakin meningkatnya konversi lahan pertanian, terutama lahan sawah, untuk industri dan pemukiman. Konsekuensi dari kondisi tersebut mengharuskan program peningkatan produksi padi diarahkan ke penggunaan lahan-lahan marginal, seperti tanah asam, yang memerlukan input produksi yang cukup tinggi. Keracunan aluminium (Al) merupakan faktor pembatas utama produksi tanaman pada tanah-tanah asam. Pada pH tanah 5 atau lebih rendah, spesies Al berupa Al^{3+} menjadi larut dan bersifat racun bagi perakaran. Kelarutan Al yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan dan fungsi akar yang selanjutnya dapat menurunkan produksi (Kochian, 1995). Penggunaan varietas padi gogo toleran Al yang mampu beradaptasi pada tanah asam akan menjadi pilihan yang menentukan keberhasilan program tersebut.

Pengembangan varietas padi toleran Al dapat dilakukan dengan cara pemuliaan dengan dibantu aplikasi marka molekular. Beberapa hasil penelitian melaporkan adanya sejumlah QTL yang mengendalikan karakter toleransi Al pada padi dengan berbagai latar belakang populasi yang berbeda-beda (Wu et al., 2000; Nguyen et al. 2003, 2002, 2001). Hasil penelitian dari tim peneliti pada makalah ini juga mengindikasikan bahwa QTL untuk karakter toleransi Al pada populasi F2 hasil persilangan padi var. IR64 dan Hawara Bunar berada pada kromosom 3 dari padi yang diapit oleh marka molekular SSR, yaitu RM231, RM 517 dan RM 514 (Miftahudin *et al.*, 2008). Hasil penelitian Program KKP3T tahun 2007-2008 yang dilaksanakan oleh Tim Peneliti dalam proposal ini menunjukkan posisi QTL untuk karakter toleransi Al dijumpai pada wilayah yang diapit oleh marka RM489 dan RM517. Disamping itu penelitian tersebut juga telah menghasilkan generasi BC2F1 hasil dari silangan tetua padi var. IR64 dan Hawarabunar (Miftahudin *et al.*, 2008). Padi varietas IR64 adalah varietas padi yang peka Al dan berperan

sebagai *recurrent parent*, sedangkan BC2F1 adalah hasil silang balik antara varietas IR64 dengan F1 yang merupakan hasil silangan varietas IR64 dengan Hawara Bunar (toleran Al).

Aplikasi hasil-hasil penelitian di bidang marka molekular masih belum banyak digunakan dalam proses seleksi dan pemuliaan tanaman, khususnya dalam pengembangan varietas padi toleran Al. Kemajuan teknologi marka molekular memberikan peluang agar proses seleksi pada populasi hasil persilangan, termasuk populasi silang balik, dapat dipersingkat hanya sampai generasi ketiga saja, sehingga proses pengembangan varietas dapat lebih cepat (Ribaut and Hoisington, 1998). Seleksi dengan bantuan marka molekular (MAS) memiliki kelebihan dibanding dengan seleksi konvensional, antara lain lebih sederhana dibanding skrining fenotipe, dapat dilakukan pada tahap kecambah, dan satu tanaman dapat terseleksi dengan reliabilitas yang cukup tinggi, sehingga MAS dapat menghasilkan efisiensi seleksi yang cukup tinggi (Dreher *et al.*, 2003; Holland, 2004; Mohan *et al.*, 1997). Oleh karena itu penelitian ini berupaya untuk mengaplikasikan marka molekular dalam seleksi populasi silang balik hasil persilangan antara padi varietas IR64 dan Hawara Bunar untuk mendapatkan galur-galur padi yang berpotensi toleran Al. Diharapkan dari penelitian ini dapat diperoleh galur-galur padi toleran Al yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi varietas unggul spesifik lokasi (VUSL) tanah asam.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan galur-galur padi toleran Al melalui aplikasi marka molekular pada populasi silang balik hasil silangan padi var. IR64 dan Hawara Bunar.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini berlangsung selama dua tahun dari tahun 2009 sampai 2010 bertempat di Laboratorium Fisiologi dan Biologi Molekular Tumbuhan, Departemen Biologi IPB, dan di Balai Besar Biogen, Badan Litbang Departemen Pertanian.

Bahan Tanaman

Kedua tanaman tetua, padi var. IR64 dan Hawarabunar, Tanaman F1, BC2F1 dan tiga populasi BC2F2 (no. 159, 175, dan 180) turunan dari persilangan padi var. IR64 x Hawarabunar hasil dari penelitian KKP3T tahun 2007-2008 digunakan dalam penelitian ini.

Peningkatan Kerapatan Marka Molekular di Sekitar QTL

Hasil penelitian KKP3T tahun 2007-2008 menunjukkan bahwa major QTL untuk karakter toleransi Al berada pada kromosom 3S yang diapit oleh dua marka (RM489 dan RM517) dengan jarak sekitar 21.7 cM. Agar seleksi berdasarkan marka molekular pada populasi silang balik berjalan dengan efektif, maka diupayakan untuk menambah beberapa marka yang terdapat diantara kedua marka tersebut, sehingga diperoleh dua marka yang mengapit gen/QTL target dengan jarak maksimum sekitar 5 cM ke gen/QTL target. Primer-primer dari 18 marka SSR yang berada pada daerah yang diapit kedua marka tersebut digunakan untuk mengamplifikasi DNA 300 tanaman F2 setelah terlebih dahulu diuji polimorfismenya di antara kedua tetua. Hasil analisis PCR kemudian diintegrasikan dengan Peta Genetik Kromosom 3 yang diperoleh dari Program Penelitian KKP3T tahun 2007-2008. Analisis keterpautan dengan QTL dilakukan dengan menggunakan MAPMAKER/QTL ver 1.1 dan Qgene ver. 4.3.2. Marka-marka tersebut selanjutnya digunakan untuk seleksi individu silang balik BC2F1.

Seleksi Gen/QTL Target dan Rekombinan pada BC2F1

Untuk mendapatkan tanaman BC2F1 yang membawa gen/QTL toleransi Al yang diinginkan, tanaman BC2F1 diseleksi berdasarkan marka SSR yang berada pada daerah QTL antara RM489 dan RM517. DNA dari 58 nomor BC2F1 diisolasi dan digunakan sebagai template PCR untuk marka molekular yang mengapit dan berada pada lokus gen toleranasi Al. Tanaman BC2F1 yang memiliki genotipe heterozigot untuk marka-marka terpaut QTL dan alel-alel homozigot IR64 pada marka RM489 dan RM517 dipilih dan digunakan sebagai bahan untuk mengembangkan populasi BC2F2 yang digunakan untuk analisis

toleransi Al dan seleksi individu yang toleran dan membawa lokus gen toleransi Al.

Penapisan Marka Molekular SSR untuk Seleksi *Background* IR64

Seleksi *background* tetua IR64 dilakukan berdasarkan kehadiran alel IR64 homozigot dari marka molekular SSR yang berada pada tiap lengan kromosom dari 12 kromosom padi individu BC2F2 toleran Al terpilih. Untuk mendapatkan marka tersebut dilakukan penapisan (*screening*) terhadap marka-marka SSR yang telah dipetakan pada kromosom padi. Dalam penelitian ini telah ditapis sebanyak 103 marka SSR yang tersebar di tiap lengan kromosom. Sekuen primer dari marka-marka tersebut diperoleh dari situs www.gramene.org dan primer dipesan berdasarkan sekuen-sekuen tersebut. Selanjutnya primer-primer tersebut ditapis dengan teknik PCR menggunakan *template* DNA dari tetua IR64, Hawarabunar dan F1 hasil persilangan keduanya. Marka-marka SSR yang polimorf kemudian digunakan untuk seleksi *background* individu BC2F2 terpilih.

Seleksi BC2F2 Toleran Al Berdasarkan *Root Re-growth* (RRG)

Teknik hidroponik sederhana digunakan untuk menumbuhkan kecambah tanaman dari populasi BC2F2 pada kondisi cekaman Al 15 ppm pada pH 4.0 (Miftahudin *et al*., 2002). Kemampuan akar kecambah untuk tumbuh kembali (RRG) selama 2 hari setelah mendapat cekaman Al digunakan sebagai parameter toleransi Al. Analisis ini dilakukan berdasarkan prosedur yang telah dikembangkan untuk padi pada penelitian KKP3T tahun 2007-2008 (Miftahudin et al., 2008).

Seleksi Genotipe BC2F2 Toleran Al Berdasarkan Marka Terpaut QTL

Untuk mendapatkan tanaman BC2F2 toleran Al (hasil seleksi tahap sebelumnya) yang membawa gen/QTL toleransi Al dari tetua Hawara Bunar dengan kombinasi genotipe yang diinginkan, maka tanaman BC2F2 toleran Al diseleksi menggunakan marka terpaut QTL. DNA dari tanaman-tanaman tersebut diisolasi dan digunakan sebagai template PCR dari marka-marka SSR tersebut. Hanya tanaman BC2F2 yang toleran Al dan memiliki alel-ale homozigot Hawara

Bunar untuk marka penentu toleransi Al saja yang akan digunakan dalam tahapan seleksi *background* IR64. Pada tahapan ini dipilih tanaman toleran Al yang membawa sesedikit mungkin *linkage drag* dari tanaman donor (Hawara Bunar).

Seleksi *Background* IR64 pada BC2F2 Toleran Al Terpilih

Individu BC2F2 toleran Al bergenotipe harapan digunakan dalam seleksi *background* IR64. Secara keseluruhan sebanyak 54 marka SSR yang tersebar pada tiap lengan kromosom digunakan untuk seleksi tahap ini. Hanya tanaman BC2F2 yang memiliki *background* alel-alel IR64 homosigot saja yang akan menjadi calon galur padi toleran Al. Diharapkan dari tahapan ini akan diperoleh tanaman BC2F2 toleran Al yang membawa gen toleran Al dari Hawarabur dan memiliki semaksimal mungkin *background* IR64, sehingga dapat dipastikan bahwa galur padi toleran Al yang akan diperoleh memiliki karakter unggul seperti IR64 tetapi toleran Al.

Isolasi DNA

DNA total diisolasi dari jaringan daun segar dari tiap individu tanaman dengan menggunakan metode CTAB (Saghai-Maroof *et al.*, 1984). Pada beberapa kondisi diperlukan DNA dalam waktu cepat, maka teknik isolasi cepat juga dilakukan seperti telah dilakukan sebelumnya oleh Miftahudin *et al.* (2004). DNA hasil isolasi dilarutkan di dalam penyangga TE dan digunakan sebagai template PCR (*Polymerase Chain Reaction*).

Teknik PCR

DNA padi (100 ng) digunakan sebagai template di dalam 50 ul reaksi PCR yang mengandung 100 mM Tris-Cl pH 8.0, 50 mM KCl, 2 mM $MgCl_2$, 0.2 mM dNTPs, 0.3-0.5 uM tiap primer, dan 1 U Taq DNA Polimerase (RBC, Taiwan). Proses PCR dilakukan dengan menggunakan thermocycler (ESCO, Singapore) dengan kondisi sebagai berikut: 5 min suhu 94^{o}C untuk 1 siklus diikuti dengan 94^{o}C (35 detik), suhu annealing (55 atau 60^{o}C) (35 detik), dan suhu 72^{o}C (1 min,

45 detik) sebanyak 35 siklus. Produk PCR dianalisis dengan elektroforesis gel superfine agarose dengan konsentrasi 2.5.0-3.0% pada penyangga 0.5 x TAE.

Serbuk Sendiri BC2F2

Tanaman BC2F2 toleran Al terpilih hasil seleksi selanjutnya ditanam di rumah kaca dan dibiarkan menyerbuk sendiri untuk mendapatkan generasi BC2F3. Populasi BC2F3 yang dihasilkan akan digunakan sebagai bahan tanaman untuk analisis karakter morofologis dan agronomis baik di rumah kaca maupun di lapang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peningkatan Kerapatan Marka Molekular di Daerah QTL

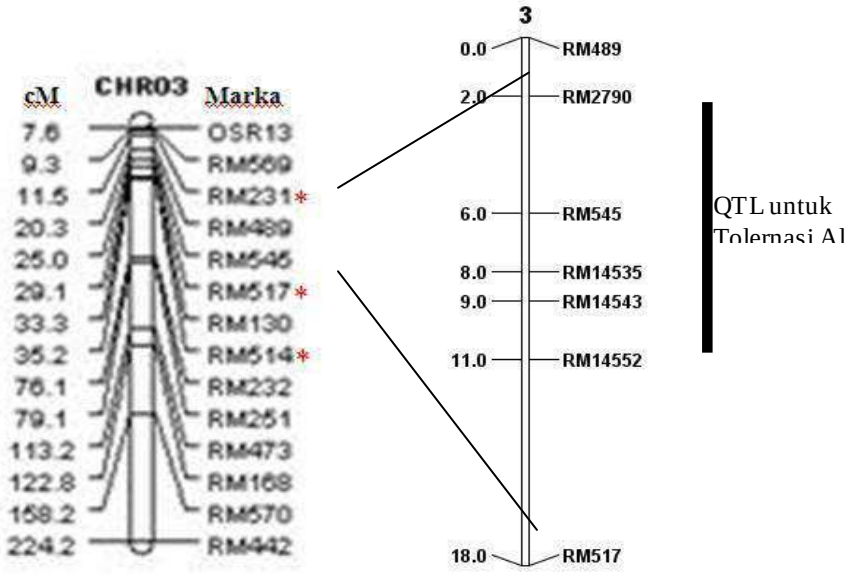
Hasil penelitian KKP3T tahun 2008 menunjukkan bahwa QTL untuk toleransi Al pada padi berada pada daerah yang diapit oleh marka RM489 dan RM517 pada koromosom 3S dari padi. Untuk meningkatkan kerapatan marka molekular SSR pada daerah kromosom 3 yang diapit marka RM489 dan RM517 telah ditapis 18 pasang primer SSR dengan menggunakan DNA dari tetua IR64, Hawarabunar dan F1 hasil persilangan keduanya untuk mendapatkan marka-marka yang polimorf di antara kedua tetua. Hasil penapisan mendapatkan 4 marka molekular SSR polimorf dan digunakan untuk meningkatkan kerapatan marka pada daerah QTL menggunakan DNA dari 300 tanaman F2 hasil persilangan IR64 dan Hawara Bunar. Hasil amplifikasi kelima marka SSR kemudian diintegrasikan dengan peta genetik kromosom 3 yang sebelumnya telah dibuat (Miftahudin et al. 2008) dengan menggunakan software MAPMAKER ver. 3.0 dan QGene ver. 4.3.2. Hasil analisis peta genetik gabungan antara peta genetik sebelumnya dengan ditambah marka SSR yang diperoleh dari penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

Hasil integrasi marka SSR ke dalam peta genetik kromosom 3S menunjukkan bahwa di antara marka RM489 dan RM517 telah dapat meningkatkan kerapatan marka molekular dari hanya satu marka di antara keduanya menjadi 5 marka SSR yang terletak di antara keduanya dengan rata-rata

tingkat kerapatan 2.5 cM per marka. Hal ini memungkinkan diperoleh marka terpaut karakter/QTL untuk sifat toleransi Al jika QTL tersebut terletak pada posisi diantara marka RM489 dan RM517.

Analisis QTL dan Marka SSR yang Mengapit QTL

Untuk mengetahui keberadaan QTL di daerah peta genetik tersebut maka dilakukan analisis QTL dengan menggunakan QGene ver. 4.3.2 dengan karakter RRG sebagai parameter sifat toleransi Al. Pencarian keberadaan QTL dilakukan dengan metode Composite Interval Mapping dan Single Trait Multiple Interval Mapping. Hasil analisis menunjukkan bahwa QTL untuk karakter RRG yang juga dapat digunakan sebagai parameter sifat toleransi Al pada padi terletak pada posisi di antara marka RM2790 dan RM14522 dengan puncaknya terdapat pada sekitar marka RM14535 (Gambar 1).



a b

Gambar 1. Peta genetik lengan kromosom 3 pada padi (a) sebelum dan (b) setelah mendapat tambahan marka SSR. Lokasi QTL untuk toleransi Al ada di antara marka RM2790 dan RM14552

Hasil analisis *in silico* dari marka-marka tersebut menunjukkan bahwa pada daerah yang diapit oleh marka RM2790 dan RM1435 terdapat gen-gen putatif yang berpotensi sebagai gen yang terlibat di dalam toleransi Al. Berdasarkan analisis tersebut kemungkinan besar marka RM2790 dan RM 14535 atau

RM14543 adalah marker yang mengapit QTL untuk toleransi Al pada koromosom 3 dan selanjutnya digunakan dalam seleksi tanaman BC2F1.

Porfil Alel Marka Terpaut QTL pada Individu BC2F1

Sebanyak 58 nomor BC2F1 diseleksi dengan marka SSR dalam dua tahap. Tahap pertama nomor-nomor BC2F1 diseleksi menggunakan marka SSR yang ada pada daerah QTL antara marka RM489 dan RM517, yaitu RM2790, RM14535, RM14543 dan RM14552. Hasil seleksi menunjukkan bahwa tanaman-tanaman BC2F1 yang diuji menunjukkan variasi alel-alel yang sebagian besar menunjukkan alel-alel homozigot IR64 (36 nomor), sedangkan 22 nomor sisanya menunjukkan alel-alel rekombinan antara marka RM2790, RM14535, RM145433, dan RM14552, baik memiliki satu, dua, tiga atau empat marka dengan alel heterozigot (H). Hal ini menunjukkan bahwa nomor-nomor BC2F1 tersebut telah mengalami introgresi lokus gen toleran Al dari Hawara Bunar tetapi tetap mempertahankan fragmen kromosom dari *recurrent parent* IR64. Nomor-nomor BC2F1 yang memiliki semua alel-alel homozigot IR64 (sebanyak 36 nomor) tidak digunakan dalam seleksi tahap kedua. Seleksi tahap kedua adalah seleksi nomor-nomor BC2F1 rekombinan menggunakan dua marka yang mengapit QTL, yaitu RM489 dan RM517. Hanya nomor-nomor BC2F1 yang memiliki alel-alel homozigot IR64 untuk kedua marka tersebut yang akan digunakan dalam tahap analisis selanjutnya. Hasil seleksi marka molekular pada BC2F1 menghasilkan 5 nomor BC2F1 dengan kombinasi genotipe tiap marka seperti disajikan pada Tabel 1. Nomor-nomor BC2F1 yang terpilih selanjutnya digunakan untuk membentuk populasi BC2F2 yang akan diseleksi berdasarkan sifat toleransi Al, marka SSR pada daerah QTL dan *background* IR64.

Tabel 1. Genotipe marka SSR pada daerah QTL dari BC2F1 terpilih

No. BC2F1	Ganotipe BC2F1					
	RM489	RM2790	RM14535	RM14543	RM14552	RM517
151 dan 159	A	A	H	A	A	A
180	A	H	H	A	A	A
174 dan 175	A	A	H	H	H	A

Keterangan: A= homozigot IR64; H=heterozigot

Seleksi Polimorfisme Marka SSR untuk Seleksi *Background*

Untuk menyiapkan marka SSR yang akan digunakan sebagai alat seleksi backgroun IR64, sebanyak 103 marka SSR yang mewakili tiap lengan dari masing-masing kromosom padi telah ditapis polimorfismenya menggunakan DNA tetua IR64, Hawara Bunar dan tanaman F1 hasil persilangan keduanya. Hasil penapisan menunjukkan bahwa 54 marka menunjukkan polimorfisme antara kedua tetua atau rata-rata 54.4 persen, yang tersebar pada setiap lengan kromosom. Dari minimal dua marka yang diharapkan polimorf untuk tiap lengan kromosom, hanya lengan panjang kromosom 1, 6, 8, 10 dan 12 dan lengan pendek kromosom 2 dan 11 yang baru memiliki satu marka polimorf, sehingga penapisan dilanjutkan terhadap 19 marka lagi. Hasil penapisan terakhir menunjukkan bahwa beberapa marka menghasilkan polimorf antar kedua tetua, tetapi tidak menunjukkan pita heterozigot pada tanaman F1 dan selebihnya berupa marka yang monomorf. Marka-marka polimorf tersebut sepertinya mengalami silensing pada alel Hawara Bunar ketika berada bersama-sama dengan alel IR64, sehingga pada F1 hanya muncul pita yang sama dengan pita IR64. Marka-marka tersebut bisa saja digunakan untuk analisis *background* IR64 tetapi harus dengan hati-hati terutama untuk menghindari salah interpretasi terhadap genotipe marka yang bersangkutan. Dengan marka-marka polimorf yang telah diperoleh dari hasil penelitian ini, maka seleksi tanaman BC2F2 untuk mendapatkan tanaman dengan *background* alel-alel dari var. IR64 sudah dapat dilakukan.

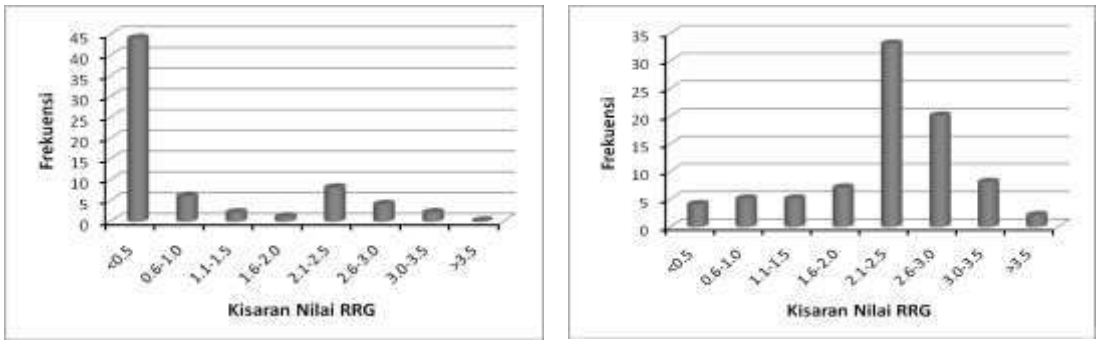
Penapisan Populasi BC2F2 Berdasarkan Sifat Toleransi Al

Sampai saat ini telah ditapis tiga populasi (No. 159, 175 dan 180) dari lima populasi BC2F2 berdasarkan karakter *root re-growth* (RRG) pada tingkat cekaman 15 ppm Al untuk mendapatkan tanaman-tanaman yang toleran Al. Kedua populasi BC2F2 tersebut berasal dari nomor-nomor BC2F1 dengan komposisi genotipe marka-marka QTL yang berbeda (Tabel 1).

Sebanyak 67 tanaman BC2F2 dari populasi no.175 telah ditapis, dan hasilnya menunjukkan 53 tanaman pada populasi ini bersifat sensitif terhadap Al dan 14 tanaman bersifat toleran Al dengan sebaran antar kelas RRG disajikan pada Gambar 2A. Populasi no 175 adalah populasi yang diturunkan dari BC2F1

yang memiliki genotipe homozigot IR64 pada marka-marka RM489, RM2790, RM517 dan heterozigot pada marka-marka RM14535, RM14543, dan RM14552.

Pada populasi lain (no 180) sebanyak 84 tanaman BC2F2 telah ditapis dengan cara yang sama dan hasilnya menunjukkan bahwa 63 tanaman bersifat toleran Al dan 21 tanaman sisanya sensitif Al atau memiliki rasio toleran:sensitif ~ 3:1. Sebaran nilai kelas RRG pada populasi BC2F2 no. 180 disajikan pada Gambar 2B. Hasil ini menunjukkan segregasi sifat toleransi Al pada populasi no 180 seperti dikendalikan oleh satu gen. Populasi no 180 adalah populasi yang diturunkan dari BC2F1 yang memiliki genotipe homozigot IR64 pada marka-marka RM489, RM14543, RM14552, dan RM517 tetapi heterozigot pada marka-marka RM2790 dan RM14535. Hasil penapisan kedua populasi tersebut mengindikasikan bahwa marka RM2790 sepertinya terpaut erat dengan lokus gen toleransi Al. Tanaman-tanaman toleran Al dari hasil penapisan ini kemudian ditanam di rumah kaca, untuk selanjunya digunakan untuk analisis *background* alel-alel IR64 dan produksi biji BC2F3.



A B

Gambar 2. Sebaran nilai RRG pada populasi BC2F2 no. 175 (A) dan 180 (B).

Seleksi Tanaman BC2F2 Toleran Al dengan Marka Terpaut QTL

Beberapa tanaman BC2F2 dari populasi no. 180 telah ditapis menggunakan marka-marka SSR yang terletak di daerah QTL untuk karakter toleransi Al pada kromosom 3. Hasil penapisan sementara mendapatkan 10 tanaman toleran Al dengan alel homozigot Hawara Bunar pada RM 2790. Penapisan masih terus dilanjutkan untuk tanaman yang lain baik dalam populasi 180 maupun 175 dan 159. Tanaman-tanaman terpilih dari hasil seleksi tahap ini selanjutnya digunakan

untuk seleksi *background* alel-alel IR64 menggunakan 54 marka SSR yang tersebar di setiap lengan kromosom.

Produksi Biji Populasi BC2F3

Tanaman BC2F2 hasil seleksi langsung ditanam di rumah kaca untuk dibiarkan menyerbuk sendiri dan memproduksi biji populasi BC2F3. Biji BC2F3 telah diperoleh dan siap untuk dilakukan pengujian selanjutnya.

KESIMPULAN

Kegiatan penelitian yang telah dilaksanakan selama dua tahun ini telah mampu meningkatkan kerapatan peta genetik di daerah QTL untuk toleransi Al pada kromosom 3 dari padi dengan empat marka SSR, yaitu RM2790, RM14535, RM14543 dan RM14552. Marka-marka tersebut dapat digunakan untuk seleksi populasi BC2F1 dan BC2F2 hasil silang balik antara pada var. IR64 yang sensitif Al dan F1 hasil persilanga antara IR64 dan var. Hawara Bunar yang toleran Al.

Kombinasi seleksi berdasarkan karakter toleransi Al dan marka molekular terhadap populasi silang balik BC2F2 telah mampu mendeteksi introgresi segmen kromosom yang membawa gen toleransi Al dari tetua toleran Al ke tetua sensitif Al dan mampu menghasilkan tanaman BC2F2 toleran Al yang membawa segmen tersebut. Tanaman BC2F2 terpilih telah ditanam dan menghasilkan biji BC2F3 yang siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Dana KKP3T antara Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian Indonesia dengan LPPM Institut Pertanian Bogor T.A. 2009 dengan Nomor Kontrak: 641/LB.620/I.1/2/2009 Tanggal 20 Februari 2009 dan T.A. 2010 dengan Nomor Kontrak: 1017/LB.6201/I.1/4/2010 Tanggal 6 April 2010 atas nama Dr. Ir. Miftahudin, MSi.

DAFTAR PUSTAKA

Dreher K, Khairallah M, Ribaut J, Morris M (2003) Money matters (I): costs of field and laboratory procedures associated with conventional and marker-assisted maize breeding at CIMMYT. Molecular Breeding 11, 221-234

Holland JB (2004) Implementation of molecular markers for quantitative traits in breeding programs - challenges and opportunities. In 'Proceeding of the 4th International Crop Science Congress.' Brisbane, Australia.

Kochian LV (1995) Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol 46: 237-260

Miftahudin, Chikmawati T, Utami DW, Hanarida I (2008) Analisis QTL dari karakter toleransi Al pada padi. Laporan Hasil Penelitian KKP3T. Institut Pertanian Bogor.

Miftahudin, Scoles GJ, Gustafson JP (2004) Development of PCR-based codominant markers flanking the Alt3 gene ini rye. Genome 47:231-238

Miftahudin, Scoles GJ, Gustafson JP (2002) AFLP markers tightly linked to the aluminum-tolerance gene *Alt3* in rye (*Secale cereale* L.). Theor Appl Genet 104:626-631

Mohan M, Nair S, Bhagwat A, Krishna TG, Yano M, Bhatia CR, Sasaki T (1997) Genome mapping, molecular markers and marker-assisted selection in crop plants. Molecular Breeding 3, 87-103

Nguyen BD, Brar DS, Bui BC, Nguyen VT, Pham LN, Nguyen HT (2003) Identification and mapping of the QTL for aluminum tolerance introgressed from the new source, *Oryza rufipogon* Griff, into indica rice (*Oryza sativa* L.). Theor Appl Genet 106:583-593

Nguyen VT, Nguyen BD, Sarkarung S, Martinez C, Peterson AH, Nguyen HT (2002) Mapping of genes controlling aluminum toleance in rice: comparison of different genetic background. Mol Genet Genomics 267:772-780

Nguyen VT, Burow MD, Nguyen HT, Le BT, Le TD, Peterson AH (2001) Molecular mapping of genes conferring aluminum tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). Theor Appl Genet 102:1002-1010

Ribaut J-M, Hoisington D (1998) Marker-assisted selection: New tools and strategies. Trends in Plant Science 3, 236-239

Saghai-Maroof MA, Soliman KM, Jorgensen RA, Allard RW (1984) Ribosomal DNA spacer-length polymorphisms in barley: Mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. Proc Natl Acad Sci USA 81:8014-8018

Wu P, Liao CY, Hu B, Yi KK, Jin WZ, Ni JJ, He C (2000) QTLs and epistasis for aluminum tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) at different seedling stages. Theor Appl Genet 100:1295-1303.

INTERVENSI BUBUK SUSU TEMPE UNTUK MEMPERBAIKI GEJALA KLINIS DIARE PADA ANAK

(Tempeh-Milk Powder Intervention to Improve Clinical Symptoms of Diarrhea in Children)

Mira Dewi, Faisal Anwar, Ali Khomsan, Dadang Sukandar
Dep. Gizi Masyarakat, Fakultas Ekologi Manusia IPB

ABSTRAK

Diare merupakan salah satu masalah kesehatan utama di negara berkembang termasuk Indonesia. Berbagai studi menunjukkan bahwa tempe terbukti bermanfaat bagi penyembuhan diare. Namun demikian, dalam pemberiannya diperlukan strategi mengingat penderita diare umumnya mengalami penurunan nafsu makan dan mual serta tidak jarang disertai muntah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan produk bubuk susu tempe untuk mempercepat penyembuhan penderita diare dan menentukan dampak intervensi tempe dan produk bubuk susu tempe terhadap gejala klinis diare pada anak. Sebanyak 30 sampel anak usia 2-5 tahun dengan diare secara acak dibagi ke dalam tiga kelompok yang terdiri atas masing-masing 10 orang, yakni kelompok perlakuan susu tempe 1 sachet/ hari, susu tempe 2 sachet/ hari, dan kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Intervensi bubuk susu tempe selama dua hari pada anak penderita diare akut secara nyata menurunkan frekuensi diare.

Kata kunci : Diare, bubuk susu tempe, anak.

ABSTRACT

Diarrhea is one of the major health problem in developing countries including Indonesia. Various studies show that tempeh has beneficiary effect in improving diarrhea. However, the strategy is needed to give tempeh in patients with diarrhea, since they usually experience decreased appetite, nausea and vomitting, especially in children. The purpose of the following study is to develop tempeh milk powder product that has beneficiary effect in improving clinical symptoms in diarrhea in children. A total of 30 subjects of children aged 2-5 with diarrhea were randomly divided into 3 groups, consisting of 10 persons each, ie, treatment group with 1 sachet / day of tempeh milk powder and 2 sachets / day of tempeh milk powder diluted in a glass of water, and control. The results showed the 2 day intervention in children with acute diarrhea significantly reduce the frequency of diarrhea.

Keywords : Diarrhea, tempeh milk powder, children.

PENDAHULUAN

Diare merupakan salah satu masalah kesehatan utama di negara berkembang yang menyebabkan kematian sekitar 3 juta penduduk setiap tahun. Di Indonesia, setiap anak mengalami episode diare sebanyak 1,6 – 2 kali per tahun. Pada tahun 2004, diare merupakan penyakit dengan frekuensi KLB kelima terbanyak setelah

DBD, Campak, Tetanus Neonatorium dan keracunan makanan (Amiruddin, 2007).

Diare adalah suatu kondisi buang air besar dengan konsistensi yang lembek sampai encer, bahkan dapat berupa air saja, yang terjadi lebih sering dari biasanya (Latifah *et al*. 2002). Diare dapat disebabkan oleh infeksi, malabsorbsi, alergi, keracunan, immuno defisiensi, dan penyebab lain. Adapun penyebab-penyebab tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor misalnya keadaan gizi, kebiasaan atau perilaku, sanitasi lingkungan, dan sebagainya.

Kelainan utama yang terjadi pada diare terjadi pada sistem pencernaan. Pada keadaan ini, terjadi percepatan transit isi saluran cerna yang melalui lumen usus halus, penurunan proses digestif enzimatis, penurunan absorpsi cairan dan zat-zat gizi, atau peningkatan sekresi cairan ke saluran cerna.

Tempe, makanan asli Indonesia yang sudah dikenal masyarakat sejak berabad-abad silam terbukti dapat bertindak sebagai obat, yakni bersifat antibiotik terhadap kuman yang umum menyebabkan diare (Kiers *et al*. 2007). Selain itu, tempe bermanfaat langsung dalam memperbaiki peningkatan sekresi cairan oleh enterosit. Sebagai makanan, tempe mengandung prebiotik yang bermanfaat untuk keseimbangan flora normal usus dan memperbaiki penyerapan air dan elektrolit serta tidak bersifat 'iritabel' terhadap usus (Mahmud *et al*. 1985). Sebagai zat gizi, tempe memiliki kandungan gizi yang lebih tinggi dibanding bahan bakunya. Tempe sangat mudah dicerna, sehingga baik untuk orang yang terkena gangguan pencernaan seperti diare. Proses pembuatan tempe juga akan menghambat bahkan menghentikan aktivitas zat antigizi (Koswara, 1995). Bahan makanan campuran yang menggunakan tempe sebagai komponennya terbukti bermanfaat bagi penanggulangan diare kronis dan gizi kurang pada anak (Effendi *et al* 1992).

Pemberian tempe pada penderita diare memerlukan strategi tersendiri mengingat penderita diare umumnya mengalami penurunan nafsu makan dan mual serta tidak jarang disertai muntah. Terlebih pada anak-anak, pemberian asupan makanan seringkali menjadi masalah yang memperburuk penyakit. Pada keadaan seperti itu, makanan akan lebih mudah diterima dalam bentuk cairan. Pengembangan produk tempe dalam bentuk susu bubuk diharapkan akan menjadi salah satu solusi agar tempe yang diberikan dapat lebih baik diterima oleh

penderita. Selain itu, bentuk susu bubuk memiliki keunggulan dalam hal masa penyimpanan yang lebih lama, sehingga akan lebih mudah disimpan dan didistribusikan. Uji klinis mengenai manfaat produk ini untuk membantu penyembuhan diare pada anak-anak juga menjadi penting untuk dilakukan, mengingat tempe mengalami berbagai tahapan proses dalam pengolahannya menjadi bentuk susu bubuk, yang bisa jadi berpengaruh terhadap manfaatnya dari segi klinis.

Tujuan Penelitian adalah :

1. Mengembangkan produk bubuk susu tempe untuk mempercepat penyembuhan penderita diare.
2. Menentukan sifat fisik dan kimia produk susu bubuk tempe yang dikembangkan.
3. Menentukan daya terima produk bubuk susu tempe.
4. Menentukan dampak intervensi produk bubuk susu tempe terhadap gejala klinis diare pada anak.

Pengembangan produk tempe dalam bentuk susu bubuk diharapkan akan menjadi salah satu solusi agar tempe yang diberikan dapat lebih baik diterima oleh penderita. Selain itu, bentuk susu bubuk memiliki keunggulan dalam hal masa penyimpanan yang lebih lama, sehingga akan lebih mudah disimpan dan didistribusikan. Penelitian ini mempunyai arti penting karena akan mewujudkan diversifikasi olahan produk tempe, yang tidak hanya bergizi tinggi tetapi juga mempunyai khasiat obat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri atas 4 tahapan sebagai berikut :

1. Formulasi pembuatan produk bubuk susu tempe
2. Analisis sifat kimia dan fisik produk susu tempe bubuk
3. Uji daya terima produk
4. Uji klinis produk pada kasus diare pada subyek anak usia 2-5 tahun.

Formulasi Pembuatan Produk Bubuk Susu Tempe

Pembuatan Tepung Bubuk Tempe Kedelai

Pembuatan tempe kedelai dilakukan dengan menggunakan metode tradisional. Metode ini dipilih karena banyak digunakan di masyarakat dan lebih mudah untuk dilakukan. Kedelai yang digunakan berasal dari varietas Americana karena merupakan varietas yang mudah didapatkan di pasaran serta banyak digunakan oleh para pengrajin tempe. Untuk menentukan lama fermentasi yang optimal dapat diterima dan bernilai gizi paling baik dilakukan uji sifat kimia, fisik dan kandungan gizi tempe dari tiga waktu fermentasi, yakni 24 jam, 36 jam dan 48 jam.

Bahan dasar tempe terlebih dahulu diiris dengan ukuran 0.5 cm x 0,5 cm x 3 cm, kemudian dikukus selama 15 menit. Selanjutnya, tempe dicuci sampai bersih dan dihancurkan/digiling/diblender sampai halus, kemudian disaring. Adonan kemudian dikeringkan melalui *drum dryer* dan dikemas dalam sachet.

1. **Analisis kandungan zat gizi dan sifat fisik produk susu tempe bubuk**
   a. **Analisis kandungan zat gizi**

      Analisis kandungan zat gizi meliputi analisis kadar karbohidrat, lemak, protein, serat, abu, vitamin dan mineral. Analisis protein menggunakan metode Kjehdahl, lemak dengan metode *fat determination system*, serat dengan metode gravimetri, dan mineral menggunakan alat AAS.

   b. **Analisis Sifat Fisik**

      Analisis sifat fisik terdiri dari analisis warna, viskositas, kestabilan koloid dan padatan terlarut.
2. **Uji daya terima produk**
3. **Uji klinis produk pada kasus diare pada sampel anak 2-5 tahun**

Uji klinis dilakukan di Puskesmas sasaran di Bogor pada Mei – Juli 2010. Bahan intervensi yang diberikan adalah susu bubuk tempe hasil formulasi dalam kemasan sachet isi 25 gram dan 50 gram. Penentuan dosis ditentukan berdasarkan kesetaraan dengan nilai kandungan protein penelitian sebelumnya.

Sampling

Sampel merupakan anak usia 2-5 tahun yang didiagnosis menderita diare akut yang datang ke Puskesmas lokasi selama bulan Mei – Juli 2010. Hipotesis dirumuskan sebagai berikut:

H0 : $\mu=\mu0$ (rataan frekuensi buang air besar tanpa diberi susu tempe /kontrol)

H1 : $\mu=\mu0-\delta$ (rataan frekuensi buang air besar setelah diberi susu tempe, δ adalah penurunan frekuensi BAB).

Ukuran sampel ditentukan dengan rumus (Walpole, 1982):

$$n=2(Z\alpha + Z\beta)^2\sigma^2/\delta^2$$

Keterangan:

α = salah jenis pertama
β = salah jenis kedua
$Z\alpha$ = nilai peubah acak normal baku sehingga $P(Z>Z\alpha)=\alpha$
$Z\beta$ =nilai peubah acak normal baku sehingga $P(Z>Z\beta)=\beta$
σ^2 = ragam dari frekuensi BAB

Jika menggunakan α=0.05, *power test*=1-β=0.8, diasumsikan σ = 1.75 dan δ=3, maka: $n= 2(Z\alpha + Z\beta)^2\sigma^2/\delta^2$

$= 2(1.64+0.84)^2 1.75^2/3^2$

$= 9.4 \approx 10$ (dibulatkan ke atas)

Dengan demikian untuk ketiga perlakuan termasuk kontrol diperlukan anak sebanyak 3 x 10 = 30 anak.

Berikut kriteria inklusi sampel:

1. Laki-laki atau perempuan usia 2-5 tahun
2. Didiagnosis menderita diare akut non spesifik oleh dokter yang memeriksa

Adapun kriteria eksklusinya adalah sebagai berikut:

1. Menderita penyakit berat atau yang berkaitan dengan sistem pencernaan
2. Terdapat tanda dan atau gejala dehidrasi sedang-berat

3. Sampel atau orang tua sampel tidak bersedia ikut penelitian dan menandatangani *informed consent*.

Desain Penelitian

Desain penelitian ini adalah *randomized parallel clinical trial*. Sampel secara acak dibagi ke dalam tiga kelompok masing-masing 10 orang, perlakuan susu 1 sachet/ hari, susu 2 sachet/ hari, dan kontrol. Ketiga kelompok mendapat pengobatan rawat jalan standar untuk diare. Intervensi diberikan selama 2 hari. Sampel dibekali formulir perkembangan penyakit yang harus diisi setiap hari. Sampel diminta untuk kembali ke puskesmas setelah 5 hari atau bila ada keluhan untuk mengumpulkan formulir perkembangan penyakit dan klarifikasi. Persetujuan etik diurus ke Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Depkes Jakarta.

Analisis Data

Analisis data untuk mempelajari pengaruh pemberian bubuk susu tempe atau tempe terhadap frekuensi Buang Air Besar (BAB) pada anak penderita diare dilakukan dengan uji Duncan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan Produk Bubuk Susu Tempe

Minuman fungsional berbasis tempe tersusun dari tepung tempe, susu instan *full cream*, garam, sukralosa, *flavor mocca*. Untuk melihat dosis bubuk tempe yang dapat diterima oleh konsumen digunakan dosis 12,5 gram dan 25 gram dan dosis susu instan digunakan konsentrasi 0, 2,5 dan 4 gram untuk setiap 25 gram dan 12,5 gram bubuk tempe. Formula minuman susu bubuk tempe yang akan diuji penerimaannya disajikan pada Tabel 1. Penentuan taraf flavour dan sukralosa ditentukan berdasarkan uji penerimaan terbatas. Dari perbandingan hasil uji sifat kimia, fisik dan organoleptik diketahui bahwa waktu fermentasi optimal untuk mendapatkan mutu dan penerimaan terbaik adalah lama fermentasi 36 jam.

Tabel 1. Formula minuman fungsional susu bubuk tempe

Bahan (g)	Formula					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Tepung Tempe	25	25	25	12,5	12,5	12,5
Susu *full cream*	0	5	10	0	2,5	5
Sukralosa	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Flavor mocca	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Jumlah	26,43	31,43	36,43	13,93	15,43	18,93

Penerimaan Formula Susu Bubuk Tempe

Data penerimaan panelis terhadap formulasi minuman susu bubuk tempe diiperoleh melalui uji kesukaan (hedonik) dan mutu hedonik terhadap parameter warna, aroma, rasa, kekentalan dan keseluruhan. Panelis yang digunakan adalah semi terlatih sebanyak 30 orang yang berasal dari mahasiswa gizi.

Hasil penilaian organoleptik menunjukkan bahwa nilai rata-rata kesukaan panelis terhadap keseluruhan minuman fungsional berbasis tempe memiliki kisaran 4,4 - 5,7 atau berada pada kisaran agak tidak suka biasa sampai agak suka. Skor rataan keseluruhan tertinggi berada pada formula A6 yaitu 5,8. Uji ANOVA dan Duncan menunjukkan kalau formula A6 berbeda nyata dengan formula lainnya, oleh karena itu, formula terpilih yang digunakan dalam tahapan penelitian selanjutnya untuk minuman fungsional susu bubuk tempe adalah formula A6.

Analisis Kandungan zat gizi Bubuk Susu Tempe

Hasil analisis proksimat dan kandungan asam amino tepung tempe disajikan pada Tabel 2 dan 3. Dari hasil yang didapat, terlihat bahwa bubuk susu tempe memiliki kandungan gizi yang cukup baik.

Tabel 2. Hasil analisis proksimat tepung tempe

Jenis kandungan gizi	Hasil
Kadar air (%)	5,43
Kadar abu (%)	3,77
Kadar protein (%)	37,60
Kadar lemak (%)	23,42
Kadar karbohidrat (%)	29,48
Kalori produk (Kal)	479,14

Tabel 3. Hasil analisis asam-asam amino susu bubuk tempe

Asam Amino	Kadar (%b/b)
Asam aspartat	4,075
Asam glutamat	7,12
Serin	1,99
Histidin	0,995
Glisin	1,385
Treonin	1,5
Arginin	2,48
Alanin	1,58
Tirosin	1,47
Metionin	0,77
Valin	1,96
Fenilalanin	1,945
Isoleusin	1,88
Leusin	2,89
Lisin	2,28

Sifat Fisik Minuman Fungsional Susu Bubuk Tempe

Sifat fisik suatu bahan pangan erat kaitannya dengan proses pengolahan dan merupakan faktor penentu dalam proses selanjutnya seperti pengemasan, penyajian dan umur simpan. Sifat fisik yang dianalisis dalam minuman fungsional berbasis tempe ini antara lain densitas kamba, viskositas, kelarutan dan daya serap air. Nilai rata-rata sifat fisik disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai rata-rata sifat fisik minuman fungsional susu bubuk tempe

Sifat fisik	nilai
Densitas kamba	0,56
Viskositas	18,75
Kelarutan	38,97
Daya serap	3,32

Dampak Intervensi Tempe Dan Produk Bubuk Susu Tempe Terhadap Gejala Klinis Diare Pada Anak

Rata-rata frekuensi diare pada subjek anak penderita diare dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Rata-rata frekuensi diare pada subjek anak penderita diare

Kelompok	Rata-rata frekuensi diare selama 5 hari
Kontrol	12,8 a
susu tempe 12,5 g	10,7 ab
susu tempe 25 g	8,6 b

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan rata-rata tidak berbeda nyata

Hasil uji beda menunjukkan bahwa rata-rata frekuensi diare pada kelompok kontrol tidak berbeda nyata dengan kelompok yang mendapat susu tempe dosis rendah, namun berbeda nyata lebih tinggi dengan kelompok yang mendapat susu tempe dosis tinggi. Sedangkan tidak ada perbedaan yang nyata antara rata-rata frekuensi diare pada kelompok susu tempe baik pada dosis tinggi maupun rendah, meskipun kelompok yang mendapat dosis tinggi memiliki frekuensi yang lebih rendah dibanding dosis rendah.

Hasil uji beda menunjukkan bahwa rata-rata skor penurunan frekuensi BAB pada anak yang mengkonsumsi susu tempe lebih tinggi secara nyata (α=0.05) daripada anak yang tidak mengkonsumsi susu tempe (kontrol). Hal ini menunjukkan bahwa susu tempe berpengaruh positif terhadap penyembuhan diare.

Hasil-hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa tempe berpengaruh positif terhadap percepatan penyembuhan diare, dan hasil yang sama ditunjukkan pula pada penelitian ini. Mekanisme penyembuhan diare oleh tempe dilaporkan berkaitan dengan adanya aktivitas antibakterial (Wang et al. 1969; Wang et al. 1972; Kobayasi et al. 1992), penghambatan infeksi Eschericia coli melalui penghambatan adhesi E coli pada enterosit pada kelinci (Sibarani,1991), dan mencegah kehilangan cairan dari enterosit yang terinfeksi ETEC pada kasus diare (Kiers et al 2007). Pemberian tempe juga memberi manfaat berupa percepatan episode diare dan periode rehabilitasi pada anak-anak penderita gizi kurang (Sudigbia et al,1985).

Penelitian ini memberikan informasi baru karena dilakukan pada keadaan akut diare (5 hari), di mana penelitian klinik sebelumnya dilakukan pada keadaan kronis diare. Dalam penelitian ini tidak ditentukan jenis atau penyebab diare. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tempe berperan terhadap agen penyebab tertentu (E. coli), atau kondisi diare tertentu (sekretorik).

Penelitian yang bertujuan mencari komponen aktif pada tempe yang bermanfaat terhadap diare sekretorik pada hewan babi melaporkan bahwa komponen aktif yang dimaksud berada pada fraksi terlarut dari tempe, namun belum dapat ditentukan jenis komponen aktif tersebut. Produk susu tempe mengalami berbagai proses selama pengolahan, termasuk penghalusan dan pemanasan dan kemungkinan dapat mengurangi atau menghilangkan komponen aktif yang berperan pada penyembuhan diare.

Pemberian dosis 12,5 g susu tempe pada penelitian ini tidak berbeda nyata dengan kelompok kontrol mau pun kelompok dengan dosis yang lebih tinggi (25 g), namun hasil yang berbeda nyata diperoleh pada dosis yang lebih tinggi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa dosis atau banyaknya produk tempe yang diberikan berpengaruh terhadap perbaikan klinis subyek.

KESIMPULAN

1. Produk susu tempe yang paling disukai dan memiliki sifat fisik, kimia, serta zat gizi yang paling baik adalah produk dengan tempe yang difermentasi

selama 36 jam, dengan komposisi per saji tepung tempe 12,5 g, susu bubuk 5 g, sukralosa 0,025g, dan flavour moka 1,5 g.

2. Intervensi susu tempe dosis 25 g selama dua hari pada anak penderita diare akut secara nyata menurunkan frekuensi diare.

DAFTAR PUSTAKA

Amiruddin R. 2007. *Current Issue* Kematian Anak (Penyakit Diare). Makassar : Fakultas Kesehatan Masyarakat Jurusan Epidemiologi Universitas Hasanuddin. www.ridwanamiruddin.wordpress.com. [22 Januari 2010]

Effendi dkk. 1995. Perbaikan Gizi Balita dengan Pemberian Makanan Tambahan (PMT) Olahan Tempe di Posyandu Desa Tertinggal. Gizi Masyarakat dan Sumber Daya Keluarga, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor

Kiers JK *et al.* 2007. A High Molecular weight Soluble Fraction of Tempeh Protects Agaist Fluid Losses in *E. coli* Infected Piglet Slamm Intestine. British Journal of Nutrition 98, 320-325

Koswara S. 1995. Teknologi Pengolahan Kedelai. Jakarta: Pustaka Sinar Harapan.

Latifah M, MD Djamaludin, Evi D, Sumali MA. 2002. Buku 1 Kebersihan Diri dan Lingkungan. Bogor: Kerjasama Pusat Kurikulum Balitbang Departemen Pendidikan Nasional dengan Lembaga Penelitian Institut Pertanian Bogor.

Mahmud, Mien K, Hermana, & Darwin Karyadi. 1995. A preliminary study of the use tempeh-based-formula in the dietary treatmen of chronic diarrhea. Majalah Kedokteran Indonesia. 35 (8).

Sibarani S. 1991. The Effect of Tempe on Preventing Diarrhoea of Rabbits Against E. Colli [Disertasi]. Fakultas Kesehatan Universitas Indonesia.

Sudigbia, I, Ag Soemantri, Darwin Karyadi, Mien K Mahmud dan Hermana. 1985. Refiding pada diare kronik dengan makanan tradisional. Majalah Kedokteran Indonesia. 35 (8).

Walpole RE. 1982. Statistical Method (Metode Statistika). B Sumantri: Penerjemah. Jakarta: Gramedia

SELEKSI KOMBINASI BAKTERI SELULOLITIK DAN XILANOLITIK UNTUK SAKARIFIKASI TONGKOL JAGUNG

(Selection of Combination of Cellulolytic and Xylanolytic Bacteria for Corncob Saccharification)

Pradani Susetyaningsih[1)], Anja Meryandini[2)], Titi Candra Sunarti[3)]
[1)] Sekolah Pasca Sarjana, Program Studi Bioteknologi IPB
[2)] Dep. Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB
[3)] Dep. Biologi, Fakultas Matematika dan IPA IPB

ABSTRAK

Lima kombinasi bakteri dicobakan pada berbagai konsentrasi substrat tongkol jagung yang telah didelignifikasi. Delignifikasi bubuk tongkol jagung dilakukan dengan merendam bubuk tongkol jagung dalam pelarut natrium hipoklorit (NaOCl) 10 % selama 5 jam pada suhu ruang. Konsentrasi substrat yang digunakan adalah 1%, 5% dan 10%. Kombinasi isolat C4,4 dan 234P-16 dapat digunakan untuk proses sakarifikasi tongkol jagung. Konsentrasi substrat yang terbaik adalah 1 % dan waktu yang dibutuhkan adalah 48 jam. Perbandingan jumlah enzim dan substrat adalah 20 ml enzim ekstrak kasar dengan 50 ml substrat tongkol jagung 1%.

Kata kunci : xilanase, selulase, sakarifikasi.

ABSTRACT

Five combination of bacteria were cultured on several delignificated corncob concentration. Delignification of corncobs methods was done by immersed it in 1% NaOCl solution for 5 hours at room temperature (28 oC). Concentration of corncob was 1%, 5% and 10%. From the five combination of bacteria in this research, combination from C4-4 and 234P-16 can be used for saccharification of corncob. The best concentration of corncob was 1% and it needed 48 hours to make monomers. The reaction was done by using 20 ml of crude enzymes with 50 ml of 1% corncob.

Keywords : xylanase, cellulose, saccharification.

PENDAHULUAN

Pengembangan bioetanol dari tongkol jagung sangat prospektif karena bahan baku ini tidak bersaing dengan bahan baku sumber pangan yang mengandung gula dan pati, seperti nira tebu, nira aren, ubi kayu, ubi jalar, jagung atau sagu. Kandungan selulosa dan hemiselulosa pada tongkol jagung juga cukup tinggi. Meryandini et al. (2008) telah meneliti kandungan komponen-komponen tersebut pada tongkol jagung varietas Bisma setelah delignifikasi adalah selulosa 44,36% dan hemiselulosa 30,38%, sedangkan lignin 19,21%.

Pada dasarnya proses pembuatan bioetanol dari tongkol jagung terdiri atas dua tahap utama yaitu hidrolisis selulosa dan hemiselulosa menjadi monomer gula

penyusunnya dan fermentasi gula menjadi etanol. Menurut Taherzadeh dan Karimi (2007) hidrolisis enzimatis memiliki beberapa keuntungan dibandingkan hidrolisis asam, antara lain: tidak terjadi degradasi gula hasil hidrolisis menjadi HMF atau furfural, kondisi proses yang lebih lunak (suhu rendah, pH netral), berpotensi memberikan hasil yang tinggi, dan biaya pemeliharaan peralatan relatif rendah karena tidak ada bahan yang korosif. Zhao et al. (2008) menambahkan bahwa hidrolisis enzimatis membutuhkan input energi yang rendah, sedikit polusi, dan tidak ada produk samping seperti furfural atau HMF (Hidroksi Metil Furfuraldehid). Oleh karena itu sebelum hidrolisis perlu dilakukan perlakuan pendahuluan (pre-treatment) untuk melepaskan ikatan selulosa dan hemiselulosa dari lignin yang menyelubunginya. Proses ini dikenal dengan delignifikasi yang salah satu tujuannya adalah untuk meningkatkan efisiensi hidrolisis.

Selama ini konversi tongkol jagung menjadi etanol memiliki rendemen yang rendah dibandingkan bahan berpati atau bahan yang mengandung gula. Salah satu penyebabnya adalah efisiensi hidrolisis selulosa dan hemiselulosa masih rendah, sehingga gula sederhana yang dihasilkan dan menjadi substrat untuk fermentasi etanol juga masih rendah. Penggunaan campuran selulase dan xilanase dari bakteri diharapkan dapat meningkatkan efisiensi hidrolisis selulosa dan hemiselulosa. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan seleksi terhadap kombinasi bakteri selulolitik dan xilanolitik yang mampu menghidrolisis tongkol jagung menjadi monomer.

METODE PENELITIAN

Persiapan tongkol jagung

Pengeringan tongkol jagung dilakukan hingga besar kadar air ± 5% kemudian tongkol jagung digiling hingga ukuran 40 mesh. Karakterisasi bahan baku bubuk tongkol jagung meliputi kadar lignin, kadar selulosa dan kadar hemiselulosa. Delignifikasi bubuk tongkol jagung dilakukan dengan merendamnya dalam pelarut natrium hipoklorit (NaOCl) 10% selama 5 jam pada suhu ruang.

Peremajaan kultur isolat

Peremajaan kultur dilakukan dengan mengkulturkan isolat-isolat selulolitik pada media CMC (ekstrak khamir 0.2%, glukosa 10%, K2HPO4 1.5%, MgSO4.7H2O 0.025%, Na2HPO4.2H2O 5 %, NaCl 0.23%, CMC 0.5%) dan isolat xilanolitik pada media xilan (1% Yeast ekstract, 10.3% sukrosa, dan 0.5% Birchwood Xylan) dan diinkubasi pada suhu ruang.

Pengukuran Aktivitas Enzim

Pengukuran aktivitas xilanase diukur dengan menggunakan xilan oat-spelt sebagai substrat dan selulase dengan CMC. Aktivitas xilanase diukur dengan metode DNS berdasarkan Miller (1959) dengan xilosa atau glukosa sebagai standar. Gula pereduksi yang dihasilkan diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm. Satu unit aktivitas enzim didefinisikan sebagai jumlah enzim yang menghasilkan 1 µmol monomer dalam waktu 1 menit. Kadar protein (mg/ml) ditentukan dengan metode Bradford (1976). Standar protein menggunakan bovine serum albumin (BSA).

Penentuan konsentrasi substrat

Penentuan aktivitas enzim hidrolisis tongkol jagung pada konsentrasi substrat yang berbeda, yaitu 1%, 5%, dan 10%, untuk mengetahui kemampuan enzim dalam menghidrolisis tongkol jagung. Pengamatan dilakukan pada waktu inkubasi 12 jam dan 24 jam meliputi penentuan total gula, jumlah gula pereduksi dan derajat polimerisasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Delignifikasi

Natrium hipoklorit mengandung ion hipoklorit yang dapat memecah ikatan karbon dalam struktur lignin. Analisa hasil delignifikai dilakukan terhadap kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin dan disajikan pada Tabel 1.

Pengamatan terhadap kemampuan isolat-isolat terpilih dalam mendegradasi tongkol jagung dilakukan dengan menghitung produksi gula pereduksinya, produksi total gula terlarut sehingga diperoleh derajat polimerisasi pada waktu

pengamatan 24 dan 48 jam. Tabel 2 memperlihatkan hasil pengamatan tersebut dengan perbandingan 10 ml enzim dan 50 ml substrat berbagai konsentrasi sedangkan Tabel 3 memperlihatkan hasil pengamatan tersebut dengan perbandingan 20 ml enzim dan 50 ml substrat berbagai konsentrasi.

Tabel 1. Hasil analisa tongkol jagung varietas Hawaii

Bahan	Sebelum delignifikasi (%)	Setelah delignifikasi (%)
Lignin	11,18	4,51
Selulosa	65,53	71,00
Hemiselulosa	9,48	11,32

Tabel 2. Derajat polimerisasi berbagai kombinasi bakteri pada substrat tongkol jagung dengan perbandingan 10 ml enzim dan 50 ml substrat. Konsentrasi substrat 1 %, 5 % dan10 % .

Kombinasi	jam ke	DP 1%	DP 5%	DP 10%
KBM 6 + 45I-3	0	4.88	4.82	5.71
	12	2.28	4.16	0.49
	24	1.86	0.43	0.49
KBM 7 + 45I-3	0	6.58	4.94	8.18
	12	3.84	4.59	0.49
	24	5.00	0.50	0.54
C 4.4 + 234P-16	0	4.82	2.32	5.65
	12	5.97	0.73	0.51
	24	4.66	0.58	0.50
C 5.1 + 234P-16	0	6.15	2.19	5.55
	12	4.58	0.54	0.61
	24	1.92	0.33	0.51

Keterangan :
KBM 6,KBM 7,C 4.4,C 5.1: bakteri selulolitik
45I-3, 234P-16 : bakteri xilanolitik

Penghilangan lignin dilakukan karena lignin menghalangi pemanfaatan hemiselulosa (xilan) secara optimal sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan mikroba yang pada akhirnya mempengaruhi produksi enzim (Agustine, 2005). Agustine (2005) menyebutkan bahwa mikrofibril selulosa dalam suatu matriks hidrofobik dibungkus oleh lignin secara fisik dan lignin terikat secara kovalen baik pada selulosa maupun hemiselulosa. Hal tersebut menyebabkan lignin tidak terpisah sempurna dari selulosa dan hemiselulosa. Menurut Fengel dan Wegener (1984), komponen lignin, selulosa dan hemiselulosa tidak dapat dipisahkan secara

sempurna meskipun menggunakan pemisahan dan pemurnian yang khusus. Pada selulosa yang telah dimurnikan selalu ditemui lignin, begitu pula kebalikannya pada lignin yang telah dimurnikan.

Tabel 3. Derajat polimerisasi berbagai kombinasi bakteri pada substrat tongkol jagung dengan perbandingan 20 ml enzim dan 50 ml substrat. Konsentrasi substrat 1 %, 5 % dan 10%

Kombinasi	jam ke	DP 1%	DP 5%	DP 10%
KBM 4 + 45I-3	0	6.24	9.95	13.43
	12	1.70	1.83	2.97
	24	2.26	1.99	3.09
KBM 6 + 45I-3	0	6.29	8.46	10.71
	12	2.74	3.05	5.67
	24	2.71	3.83	4.74
KBM 7 + 45I-3	0	7.63	8.17	5.11
	12	2.33	3.51	3.53
	24	2.54	3.00	3.14
C 4.4 + 234P-16	0	20.49	8.11	7.97
	12	1.55	1.94	3.67
	24	1.21	2.67	3.51
C 5.1 + 234P-16	0	12.80	8.15	7.51
	12	1.36	2.37	3.63
	24	2.11	2.97	4.46

Keterangan :
KBM 4, KBM 6,KBM 7,C 4.4,C 5.1: bakteri selulolitik
45I-3, 234P-16 : bakteri xilanolitik

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Subekti (2006), hidrolisis enzim lebih banyak menghasilkan gula dibanding dengan hidrolisis asam. Hal ini karena enzim selulase yang dihasilkan oleh mikroba merupakan enzim kompleks sehingga tongkol jagung dapat dihidrolisis secara sempurna.

Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa perbandingan 10 ml enzim dengan 50 ml substrat tidak dapat meningkatkan total gula yang terlarut secara maksimal. Hal ini dapat terjadi oleh kurangnya aktivitas enzim dalam jumlah maupun kemampuannya dalam menghidrolisis substrat tongkol jagung. Pada hasil hidrolisis dengan menggunakan kombinasi 20 ml enzim dan 50 ml substrat, dapat dilihat kenaikan total gula yang terbaik terjadi pada konsentrasi substrat 1%. Waktu yang diperlukan untuk mendapatkan monomer terbanyak dari hidrolisis

tongkol jagung dengan konsentrasi 1% adalah 48 jam oleh kombinasi bakteri C4,4 dengan 234P-16 seperti yang terlihat pada tabel 3.

KESIMPULAN

Proses delignifikasi dapat menurunkan kadar lignin sebesar 6.67%. Dari lima kombinasi bakteri yang digunakan, kombinasi isolat C4,4 dan 234P-16 dapat digunakan untuk proses sakarifikasi tongkol jagung. Konsentrasi substrat yang terbaik adalah 1% dan waktu yang dibutuhkan adalah 48 jam. Perbandingan jumlah enzim dan substrat adalah 20 ml enzim ekstrak kasar dengan 50 ml substrat tongkol jagung 1%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional melalui program Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional Nomor 343/SP2H/PP2M/VI/2009, tanggal: 16 Juni 2009.

DAFTAR PUSTAKA

Agustine, W. 2005. Penentuan Kondisi Optimum Pertumbuhan dan Produksi Xilanase Isolat AQ1. Skripsi. Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. Anal Biochem 72:248-254.

Fengel D, Wegener G. 1995. Kimia Kayu, Reaksi Ultrastruktur: Terjemahan S. Hardjono. UGM Press. Yogyakarta

Meryandini A, Sunarti TC, Naomi A, Pratiwi FMR. 2008. Using Streptomyces xylanase to produce xylooligosaccharide from corncob. Biotropia 15(2):19-128.

Miller GL. 1959. Use of dinitrosalycilic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal Chem (31):426-428.

Taherzadeh MJ, Karimi K. 2007. Enzyme-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. J Bio Resources 2(4):707-738.

Zhao X, Lihua Z, Dehua Liu. 2008. Comparative study on chemical pretreatment methods for improving enzymatic digestibility of crofton weed stem. Biores Technol 99:3729–3736.

Bidang Biologi dan Kesehatan

INDEKS PENELITI

A

Adha Sari, 159
Agus Fachrudin, 311
Ahmad Djunaedi, 311
Akhmad Endang Zainal Hasan, 13
Akhmad Rizali, 159
Ali Khomsan, 365
Anas Miftah Fauzi, 174
Andi Syah Putra, 197
Andik Wijayanto, 352
Ani Suryani, 107
Anja Meryandini, 376
Ari Imam Sutanto, 107
Asdar Iswati, 117, 267
Atang Sutandi, 142
Azis Boing Sitanggang, 73

B

Bariot Hafif, 142
Basuki Wasis, 134
Betty Sri Laksmi Jenie, 1
Bram Kusbiantoro, 13, 73
Budi Kartiwa, 217

C

Chusnul Arif, 294

D

Dadan Mulyana, 134
Dadang Sukandar, 365
Damayanti Buchori, 159
Dewi Apri Astuti, 287
Didit Okta Pribadi, 197
Djarot Sasongko Hami Seno, 13, 24
Djumali Mangunwidjaja, 174
Dwinita W. Utami, 352
Dyah Iswantini, 311
Dyah Retno Panuju, 117, 267

E

Edi Zulchaidir, 186
Edy Djauhari, 311
Elizabeth Wina, 287
Endah R. Palupi, 320
Enni Dwi Wahjunie, 117
Erliza Hambali, 186
Ernan Rustiadi, 197
Etty Kusumastuti, 117

F

Faisal Anwar, 365

H

Harsi D. Kusumaningrum, 1
Heri Harti, 34
Hermansyah Handoko, 186
Herry Suhardiyanto, 294
Hidayat Pawitan, 217
Huda Salahudin, 311

I

I Wayan Teguh Wibawan, 335
Ida Hanarida, 352
Irsal Las, 252
Istomo, 233
Iswandi Anas, 142
Jaelani, 107

K

Kartika, 320
Ketut Karuni N Natih, 335

L

Latifah K Darusman, 311

M

Machfud, 252
Memen Surachman, 320
Miftahudin, 352
Min Rahminiwati, 311
Mira Dewi, 365
Mira Rivai, 186
Mohamad Rahmad Suhartanto, 34

N

Nani Heryani, 217
Nuri Andarwulan, 91

O

Oteng Haridjaja, 267

P

Pradani Susetyaningsih, 376
Putu Suarsana, 186

R

Rarah R. A. Maheswari, 45, 56
Rois, 252

S

Santun R.P. Sitorus, 267
Sari Pramadiyanti, 311
Satya Nugroho, 24
Sawijo, 217
Setia Hadi, 197
Siti Mujdalipah, 107
Slamet Budijanto, 73
Sobir, 34
Sri Suharti, 287
Sri Widowati, 1
Sri Wilarso Budi R., 233
Sugihardjo, 186
Sugiyono, 91
Sukardi, 174
Sukarno, 73
Supiandi Sabiham, 142, 252
Suyamto, 142

T

Taopik Ridwan, 311
Tatik Chikmawati, 352
Tien R Muchtadi, 91
Titi Candra Sunarti, 376
Tri Joko Santoso, 13, 24
Trivadila, 311

W

Wagiman, 174
Warid, 320

Y

Yanuar J.Purwanto, 217
Yohanes Aris Purwanto, 294
Yudi Chadirin, 294
Yunawati Gandasasmita, 311

Z

Zainal Alim Mas'ud, 13, 24
Zakiah Wulandari, 45

Mencari dan Memberi yang Terbaik

ISBN 978-602-8853-11-8 (jil.1)

Sekretariat
Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM - IPB)
Gedung Andi Hakim Nasoetion Lantai 3 Kampus IPB Dramaga Bogor 16680
Telp. +62251 8622093 +62251 8622709 Fax. +62251 8622323
Website : http://lppm.ipb.ac.id; Email : lppm@ipb.ac.id; lppm@bima.ipb.ac.id