



ISBN 978-602-8853-10-1
978-602-8853-13-2

PROSIDING SEMINAR HASIL-HASIL PENELITIAN IPB 2010

Buku 3 Bidang Teknologi dan Rekayasa



PROSIDING
SEMINAR HASIL-HASIL
PENELITIAN IPB

2010

Buku 3
Bidang Teknologi dan Rekayasa

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
978-602-8858-13-2
Oktober 2011**

KATA PENGANTAR

Salah satu tugas penting LPPM IPB adalah melaksanakan seminar hasil penelitian dan mendesiminasi 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), Kementerian Pertanian (Kementerian) dan Kementerian 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
Pengembangan Model Aditif-Multiplikatif Untuk Seleksi Daya Adaptasi Tanaman - <i>Ahmad Ansori Mattjik, I Made Sumertajaya</i>	709
Pengembangan Metode Fusi Protoplas Dengan Tingkat Keberhasilan Pembentukan Fusan 25% Untuk Memperoleh Tanaman Triploid Jeruk Garut Tanpa Biji Dengan Produktivitas 15 Ton/Ha Pada Umur 8 Tahun: Isolasi Protoplas, Kultur Protoplas, Dan Regenerasi Protoplas Hasil Fusi - <i>A Purwito, A Husni, M Kosmiatin</i>	729
Teknologi Transplantasi Sel Testikular Dalam Rekayasa Produksi Benih Ikan Gurame (<i>Oosphronemus Gouramy</i>) - <i>Alimuddin, Muhammad Zairin Jr., Harton Arfah</i>	749
Desain Proses Dehidrasi Bioetanol Menggunakan Zeolit Molecular Sieve Dengan Teknik Vacuum Swing Adsorption - <i>Ade Iskandar, Dedi Wahyudi, Dwi Setyaningsih, Muhammad Arif Yudiarto</i>	761
Introgresi Aroma Padi Mentik Wangi Berbatuan Marka Bradbury - <i>Djarot Sasongko Hami Seno, Tri Joko Santoso, Zainal Alim Mas'ud</i>	775
Simulasi Pemanfaatan Data Losat Dan Pengembangannya Untuk Menetapkan Spesifikasi Muatan Utama (<i>Payload</i>) Dari <i>Roadmap</i> Peluncuran Satelit Lapan (Lisat) Tahun 2013 Untuk Mendukung Program Ketahanan Pangan Nasional - <i>Hari Wijayanto, Anas Miftah Fauzi, Irzaman, Hendradi Hardhienata, Bambang H. Trisasonko</i>	786
Pengembangan Teknologi Akustik Bawah Air Dalam Eksplorasi dan Kuantifikasi Stok Ikan Untuk Pemanfaatan Sumberdaya Pangan Kelautan I. Pengukuran Target Strength Ikan Dalam Kondisi Terkontrol - <i>Henry M. Manik, Faisal Ahmad</i>	803
Pengembangan Proses Produksi Pangan Berbasis Cokelat Untuk Meningkatkan Mutu Dan Daya Saing Produk - <i>Hadi K Purwadaria, Sri Mulato, Dedi Fardiaz, GP Ganda Putra. Sukrisno Widjyotomo</i>	813

Sifat Optik Film Tipis Material Ferroelektrik $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ Yang Didadah Ferium - <i>Irzaman, Akhirudin Maddu, Ardian Arif, Heriyanto Syafutra, Ihsan Surur</i>	824
Respons Tingkah Laku Ikan Kerapu Macan Terhadap Umpan Buatan Pada Skala Laboratorium - <i>Mochammad Riyanto, Ari Purbayanto, Dian Indrawatie</i>	833
Desain dan Pengujian Kinerja Penggetar Struktur untuk Menurunkan Draft Bajak Mol - <i>Radite P.A.S, Soeharsono</i>	848
Evaluasi Value Chain Penerapan Rancangan Kemasan Buah Manggis Pada Sistem Rantai Pasok Ekspor Buah Eksotik Indonesia - <i>Sutrisno, Emmy Darmawati, Sugiyono</i>	858
Perancangan Proses Dan Sistem Produksi Mikroalga Dari Limbah Cair Agroindustri - <i>Suprihatin, Muhammad Romli, Andes Ismayana</i>	872
Optimasi Suhu dan Waktu Kempa Dalam Pembuatan Papan Partikel Tanpa Perekat Dari Kayu Mindi (<i>Melia Azedarach</i>) - <i>Yusuf Sudo Hadi, Muh. Yusram Massijaya, Adi Santoso, Suhasman</i>	898

INDEKS PENELITI

vi

**PENGEMBANGAN MODEL ADITIF-MULTIPLIKATIF
UNTUK SELEKSI DAYA ADAPTASI TANAMAN**
(Development of Additive-Multiplicative Model for Selection of Plant
Adaptation)

Ahmad Ansori Mattjik¹⁾, I Made Sumertajaya¹⁾

¹⁾Dep. Statistika Fakultas Matematika dan IPA IPB

ABSTRAK

Penelitian ini berangkat dari masalah riil (real problems) pada kajian seleksi daya adaptasi tanaman yang dilakukan dalam rangka menjamin tersedianya pangan yang berkualitas. Kegiatan bertujuan mengembangkan metode yang berkenaan dengan analisis interaksi yang banyak digunakan dalam kajian daya adaptasi genotipe suatu tanaman pada percobaan multilokasi. Secara statistika, kajian ini memanfaatkan model additive-multiplicative atau model AMMI (Additive Main effect and Multiplicative Interactions). Model AMMI memerlukan pengembangan untuk tanggap terhadap masalah riil pada riset pemuliaan tanaman khususnya, dan untuk perluasan cakupan analisis. Dengan roadmap dan indikator kerja yang jelas, pengembangan dilakukan bertahap selama tiga tahun, dengan tetap merespon perkembangan tiap tahunnya. Pengembangan utama model seleksi adaptabilitas melalui model AMMI dapat kita pandang dalam empat hal, (1) penanganan ketersediaan atau kelengkapan data (2) Penanganan permasalahan Model AMMI pada Distribusi Normal dan Pengembangan Inferensi pada Model AMMI, (3) Pengembangan/perluasan Model AMMI (Generalized AMMI) dan (4) pengembangan komputasi dan aplikasinya. Dengan melibatkan 9 orang mahasiswa pascasarjana, sedikitnya dihasilkan 12 artikel diseminasi nasional dan internasional dan 7 artikel publikasi dalam jurnal nasional dan internasional terakreditasi. Hasil yang menarik adalah konsep Circular Statistics untuk mendapatkan selang kepercayaan Bootstrap bagi Biplot AMMI, dan algoritma Alternating Regression pada GAMMI dan Robus AMMI, serta penggunaan konsep Bayesian pada model AMMI. Yang tidak kalah penting adalah mengintegrasikan pengembangan metode analisis interaksi genotipe interaksi untuk seleksi adaptasi secara komprehensif. Integrasi ini diperlukan mengingat genetika kuantitatif telah sukses membantu pemulia tanaman, tetapi aplikasi statistika sering kali sulit dimengerti oleh seseorang yang bekerja pada genetika molekular.

Kata kunci : AMMI, GAMMI, Ciscular Statistics, Bayessian AMMI, Robust AMMI, Bootstrap

ABSTRACT

This study is one of the real problems in the study of plant adaptation power of selection, which is done in order to ensure the availability of quality food. This activity aims to develop methods associated with the analysis of interactions that are widely used in the study of the adaptation of the genotype of a plant in multi location trials. In statistics, this study utilizing additive-multiplicative model or AMMI model (Additive Main effect and Multiplicative Interactions). AMMI model requires development to respond to real problems in plant breeding research in particular, and for the expansion of the scope of the analysis. With the roadmap and clear performance indicators, the development carried out gradually over three years, with still respond to development each year. The main development of the model selection AMMI adaptability through the model can be seen in four cases, (1) the availability or completeness of data handling (2) Handling problems AMMI Model on Normal Distribution and Development of Inference in AMMI model, (3) Development / expansion of the AMMI model (Generalized AMMI) and (4) the

development of computing and its applications. By involving nine graduate students, at least 12 articles generated national and international dissemination and publishing seven articles in national journals and nationally accredited. Interesting results is the concept of Circular Statistics to obtain bootstrap confidence intervals for AMMI BI PLOT, and algorithms on GAMMI Alternating Regression and Robust AMMI, as well as the use of the concept of Bayesian on AMMI model. What is important is to integrate the development of methods of analysis of the interaction genotype interaction for adaptation in a comprehensive selection. This integration is necessary because of quantitative genetics has successfully helped plant breeders, but the application of statistics often times difficult to understand by someone who works on molecular genetics.

Keywords : AMMI, GAMMI, BI PLOT, Circular Statistics, Bayesian AMMI, Robust AMMI, bootstrap

PENDAHULUAN

Sumberdaya manusia merupakan salah satu pilar pembangunan nasional. Keberhasilan pembangunan nasional akan ditentukan oleh kualitas sumberdaya manusia yang dimilikinya. Dengan demikian untuk mencapai tujuan pembangunan nasional, pengembangan kualitas sumber daya manusia sangat perlu dilakukan. Beberapa faktor yang dapat meningkatkan kualitas sumberdaya manusia antara lain pangan, nutrisi dan kesehatan. Oleh karena itu, penyediaan pangan yang memadai merupakan salah satu kunci dalam peningkatan kualitas sumber daya manusia.

Dalam rangka ikut serta membantu meningkatkan kualitas hidup para petani dapat ditempuh melalui berbagai program antara lain menyediakan berbagai varietas unggulan yang memiliki tingkat produksi tinggi, berumur pendek, tahan terhadap serangan hama dan penyakit. Untuk mendapatkan varietas-varietas unggulan perlu dilakukan berbagai penelitian seperti rekayasa genetik, persilangan antar galur, serta uji daya adaptasi berbagai genotipe pada berbagai kondisi lingkungan (multi-environment trial / MET). Secara umum, penelitian ingin berkontribusi dalam pengembangan metode yang berkenaan dengan analisis interaksi yang banyak digunakan dalam kajian daya adaptasi genotipe suatu tanaman pada berbagai kondisi yang tersedia. Menyediakan pemodelan untuk seleksi melalui uji adaptabilitas dan stabilitas amat diperlukan untuk mendukung upaya memperoleh varietas yang unggul.

Untuk menjamin tersedianya pangan yang berkualitas perlu dilakukan berbagai kajian diantaranya meneliti tentang daya adaptasi berbagai genotipe suatu tanaman pada berbagai kondisi yang tersedia, yang sering dikenal dengan sebutan uji lokasi ganda (multi locations/environments trial). Uji lokasi ganda melibatkan dua faktor utama yaitu genotipe tanaman dan kondisi lingkungan (lingkungan: tempat (site), musim, perlakuan agronomis (agronomy treatment)). Dari uji lokasi ganda diharapkan mampu memilah pengaruh utama (genotipe dan lingkungan) dan pengaruh interaksi antara genotipe dengan lingkungan (IGL). Dari pengaruh interaksi tersebut dapat dipilih genotipe-genotipe yang mampu beradaptasi pada berbagai kondisi lingkungan (genotipe stabil) dan genotipe-genotipe yang hanya sesuai pada lingkungan tertentu (genotipe spesifik). Untuk mampu memilah kedua pengaruh ini dengan baik dibutuhkan pendekatan analisis yang tepat.

Pendekatan analisis yang berkembang sampai saat ini untuk percobaan lingkungan ganda antara lain analisis kestabilan Eberhat and Russel, analisis regresi linier terhadap pengaruh lingkungan dan Additive Main effect and Multiplicative Interaction (AMMI). Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa pendekatan AMMI lebih baik dalam mengkaji struktur interaksi antara genotipe dengan lingkungan. Model AMMI mampu menjelaskan interaksi dengan baik melalui model interaksi lengkap atau dikenal sebagai suku multiplikatif/bilinier (Sumertajaya, 1998). Groenen, P.J.F & A. J. Koning, (2004b) menunjukkan penggunaan biplot pada model bilinear sebagai cara baru memvisualisasi interaksi pada model aditif (ANOVA model). Struktur interaksi diuraikan dari matriks sisaan komponen aditif dengan memanfaatkan sifat matematis penguraian nilai singular (singular value decomposition, SVD). SVD merupakan pendekatan kuadrat terkecil dengan reduksi dimensi (pangkat matriks) data yang terbaik dan menyediakan penyajian secara grafis yang dikenal secara luas dengan nama Biplot. Model AMMI dibangun dengan landasan teori pemodelan pada distribusi data Normal (gaussian) yang mapan, teknik komputasi yang sederhana, dan telah secara luas digunakan.

Seiring dengan permasalahan riil pada pemuliaan tanaman pangan, beberapa hal dari pendekatan AMMI perlu dikembangkan untuk memperluas cakupan analisis. Hal ini dimaksudkan sebagai upaya optimalisasi penggunaan model AMMI dalam mendekomposisi IGL rangka pemenuhan pangan umat manusia. Melalui penelitian ini akan diperoleh pendekatan pemodelan multiplikatif yang komprehensif dan terintegrasi dalam upaya menjamin tersedianya pangan melalui diperolehnya varietas tanaman pangan yang unggul dan mempunyai daya adaptasi pada berbagai kondisi lingkungan Indonesia.

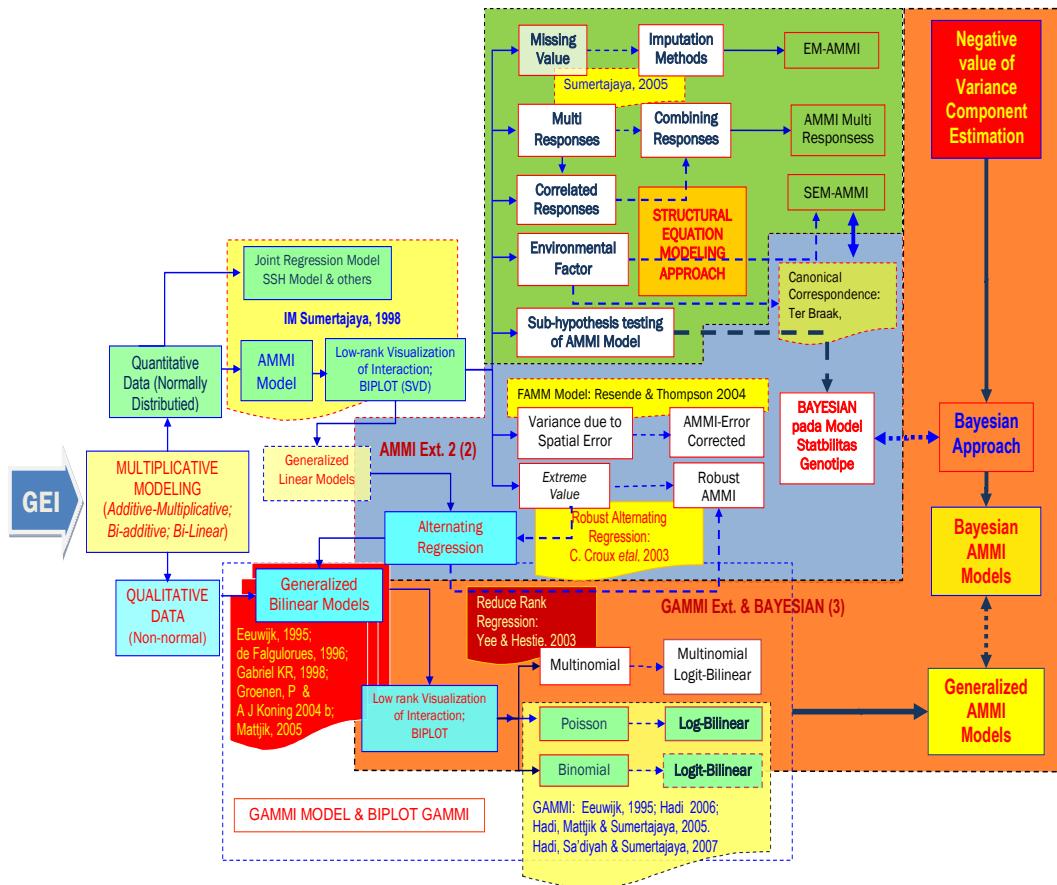
Roadmap Penelitian

Pada dasawarsa terakhir metode seleksi adaptabilitas genotype melalui percobaan multilokasi telah banyak menggunakan model AMMI. Sampai saat ini model AMMI telah berkembang baik untuk data kuantitatif (sebaran normal), sebut saja model AMMI, maupun untuk data kategorik (sebaran bukan normal) yang disebut G-AMMI.

Model AMMI pada dasarnya adalah model dengan faktor tetap tetap (fixed model) yang mengasumsikan genotipe dan lingkungan ditentukan secara subjektif oleh peneliti dan kesimpulan yang diharapkan hanya terbatas pada genotipe dan lingkungan yang dicobakan saja. Namun telah pula berkembang model campuran, campuran antara faktor tetap dan acak, (Mixed/Random AMMI). Model ini memperluas cakupan kesimpulan, dimana lingkungan bersifat acak dan kesimpulan untuk faktor lingkungan berlaku untuk populasi lingkungan dalam hal ini lokasi budidaya tanaman di seluruh Indonesia. Semetara itu, untuk data kualitatif telah berkembang pula model kategorik (GLM-AMMI/Generalized Linear Model AMMI) yaitu jika respon yang diamati bersifat kategorik seperti banyaknya serangan hama (sebaran poisson) dan data sebaran binomial dalam bentuk persentase (Eeuwijk, 1995; Hadi, Sumertajaya & Mattjik, 2005; serta Hadi, 2006).

Suatu percobaan multilokasi membutuhkan biaya yang tidak sedikit, disamping melibatkan begitu banyak genotype, ia juga dilakukan pada berbagai

lingkungan budidaya di Indonesia. Desain percobaan di tiap-tiap lokasi haruslah sama satu sama lain.



Gambar 1. Roadmap Penelitian: Kerangka Teori dan Topik Penelitian & Pengembangan Model

Beberapa asumsi dan kaidah perancangan percobaan adakalanya tidak dapat dipenuhi, seperti kebebasan antar pengamatan, termasuk didalamnya asumsi sebaran data. Beberapa masalah akan muncul dalam analisis.

Beberapa masalah akan muncul dalam analisis. Pada penelitian ini masalah utama model selesai adaptabilitas melalui model AMMI dapat kita pandang dalam dua hal, (i) masalah ketersediaan atau kelengkapan data (ii) masalah metode pendugaan model AMMI. Secara ringkas roadmap riset dan kajian pustaka pada gambar 1.

Keterkaitan Hasil Penelitian

Pada penelitian ini pengembangan utama model seleski adaptabilitas melalui model AMMI dapat pandang dalam empat hal, (1) Penanganan ketersediaan atau kelengkapan data (2) Penanganan permasalahan Mode AMMI pada Distribusi Normal dan Pengembangan Inferensi pada Model AMMI, (3) Pengembangan/perluasan Model AMMI (*more general on AMMI Models*) dan (4) mengenai pengembangan komputasi dan aplikasinya. Berikut adalah beberapa pengembangan model AMMI untuk analisis percobaan multilokasi (gambar 2)

1. Ketersediaan data.

Masalah ini meliputi ketidaklengkapan data dan pengamatan hilang dan penggabungan respon untuk pengamatan daya hasil. Dalam hal ini diperlukan **(1) Metode Pendugaan Data Hilang untuk Model AMMI**. Pengembangan metode mendugaan untuk ketidak lengkapan tersebut. Ada sebagian genotipe yang sama pada setiap lingkungan dan sebagian lagi genotipe yang dicobakan tidak sama. Struktur data seperti ini tentunya membutuhkan penanganan tersendiri agar dapat dianalisis dengan menggunakan model AMMI. Sumertajaya, 2006 melaporkan penggunaan g-connected dan Expectation-Maximization algorithm (algoritma EM) untuk menduga respon yang tidak lengkap (incomplete data). **(2) Penggabungan respons.** AMMI masih berbasis pada respon tunggal seperti tingkat daya hasil. Padahal pada kenyataannya tingkat adaptasi tanaman tidak hanya cukup dilihat dari daya hasil saja melainkan juga harus memperhatikan perkembangan morfologi tanaman maupun daya resistensi tanaman terhadap serangan hama dan penyakit. Dengan demikian respon yang dihadapi dalam kasus ini adalah percobaan lokasi ganda dengan respon ganda. Sehingga diperlukan pendekatan lain yang mampu menarik kesimpulan secara komprehensif dari berbagai respon yang diamati. Beberapa metode telah dipelajari dalam upaya penggabungan respon antara lain menggunakan informasi nilai minimum dan maksimum dari data respon peubah asal (Lawrence et al, 2003; Gani & Duncan, 2004; Kundu, 2004) atau first principal component (komponen utama pertama) dan jarak Hotelling.

2. Penanganan permasalahan Model AMMI pada Distribusi Normal dan Pengembangan Inferensi pada Model AMMI

Terkait dengan penembangan model AMMI sebagai pada faktor acak dan penanggangan keragaman spatial. Pengembangan pada model acak dilakukan antara lain (1) **Pengembangan model AMMI campuran** sebagai penanganan ketak-homogenan ragam oleh satu faktor acak atau dikenal dengan model campuran (mixed model). Pengembangan mixed AMMI melalui Best Linear Unbias Predictor (BLUP) untuk faktor acak. (2) **Pemodelan IGL dengan menggunakan Structural Equation Modeling.** Sedangkan percobaan multilokasi tidak terbatas hanya pada percobaan dengan faktor tetap tetapi cenderung menggunakan faktor acak. Sehingga untuk menjembatani masalah tidak terpenuhi asumsi tersebut maka metode *Partial Least Square* dapat menjadi solusi. Sedangkan terkait dengan pengembangan inferensia terkait (3) **Pengujian sub-hipotesis pada IGL.** Dalam model percobaan dua faktor perlakuan, jika pengaruh interaksi yang bersifat multiplikatif antar kedua perlakuan signifikan (seperti pada AMMI) maka perlu melakukan pengujian lebih lanjut guna mengetahui genotip yang berkontribusi terhadap pengaruh interaksi genotip dan lingkungan (Marasinghe, 1980). Pengujian tersebut dikenal dengan pengujian subhipotesis dimana menurut Yochmowitz (dalam Marasinghe, 1980) nilai statistik ujinya bisa dirumuskan dengan menggunakan metode kemungkinan maksimum (maximum likelihood). (4) **Inferensi Kestabilan Genotipe pada Model AMMI menggunakan metode Resampling Bootstrap.** Interpretasi hasil AMMI dilihat dari Biplot yang memvisualisasikan skor komponen utama interaksi pertama dan komponen utama interaksi kedua ke dalam grafik berdimensi dua. Biplot AMMI hanyalah suatu analisis eksplorasi dan tidak menyediakan pengujian hipotesis, sehingga interpretasi yang dihasilkan dapat berbeda bagi setiap peneliti. Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu metode secara inferensia untuk interpretasi hasil biplot AMMI dengan menggunakan metode resampling bootstrap.

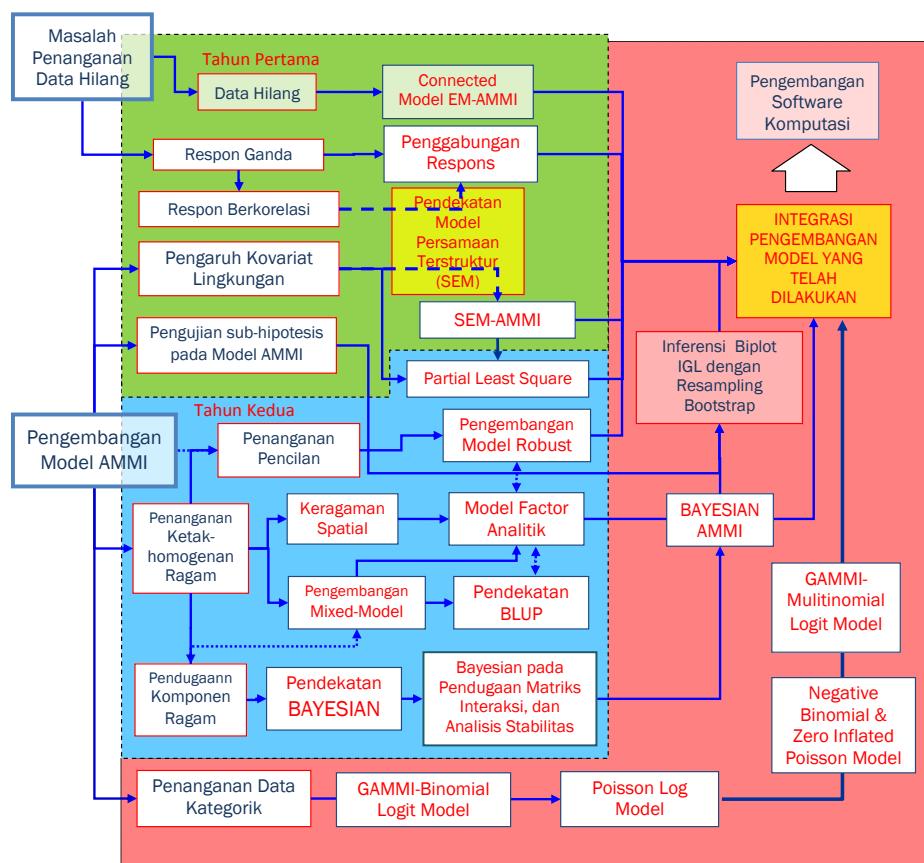
3. Pengembangan/perluasan Model AMMI (*more general on AMMI Models*)

Pengembangan perluasan ini terkait pada respon model AMMI baik itu pada multi respon ataupun pada kelas distribusi/sebaran datanya. (1) **Pengembangan Model Kekar Pencilan.** Sebagaimana model multiplikatif berbasis Least Square

dan SVD yang lain (diantaranya Analisis Komponen Utama dan Analisis Faktor), AMMI dan Biplot AMMI juga rentan terhadap adanya pencilan. Sedangkan dalam upaya mendapatkan varietas yang unggul, pencilan justru menjadi sesuatu yang berharga, karenanya mengabaikan keberadaannya tidaklah bijaksana. Untuk itu diperlukan metode yang relatif "tegar" terhadap adanya pencilan. C. Croux et al (2003) memperkenalkan penggunaan algoritma *alternating regression* pada model faktor analisis dengan pendekatan robust factorization matrix. Pendekatan ini akan dicoba untuk membangun model robust-AMMI. Dan telah diperoleh model multiplikatif melalui algoritma regresi bolak-balik. Disamping itu dalam model ini pula telah diperoleh sekaligus identifikasi adanya pencilan didalam data tabel dua arah atau pun pada matriks interaksi yang akan didekomposisi. **(2) Model Kestabilan Non-Parametrik.** Asumsi yang harus dipenuhi dalam AMMI antara lain galat dan pengaruh interaksi menyebar normal. Sehingga tidak akan memperoleh hasil yang baik jika asumsi dilanggar. Itu berarti bahwa uji parametric untuk signifikannya variansi dan ukuran variansi-sangat sensitif terhadap asumsi yang mendasari. Sehingga sebaiknya dilakukan pendekatan yang lebih robust (kekar) terhadap pelanggaran asumsi umum seperti pengukuran non parametrik (Nassar and Huehn, 1987; 1989). **(3) Perluasan Model Terampat. Pengembangan Sifat Keterampatan terhadap Ketaknormalan.** Pengembangan sifat keterampatan terhadap ketaknormalan data pengamatan dilakukan dengan mengembangkan Model G-AMMI untuk data cacahan pada sebaran Poisson dan sebaran Multinomial. Setelah G-AMMI untuk sebaran poisson dan binomial dicoba dimodelkan melalui pendekatan likelihood, sebaran multinomial akan dicoba menggunakan pendekatan *Iteratif Reweighted Least Square*, dengan algoritma *alternating regression*. Algoritma ini paralel dengan pengembangan robust AMMI. Topik ini juga menjadi topik disertasi S3. **(4) Pengembangan model Bayesian AMMI.** Topik ini merupakan keberlanjutan dari upaya menatasi ketaknormalan ragam sekaligus upaya mendapatkan inferensi atas hasil AMMI. Didalamnya juga terkait penggunaan distribusi yang unik bagi pengaruh interaksi dan konsep resampling dalam komputasi Bayesian. Topik ini menjadi salah satu topik disertasi mahasiswa S3.

4. Penyediaan Aplikasi Komputer.

Yang tidak kalah penting adalah mengintegrasikan pengembangan metode metode analisis interaksi genotipe interaksi untuk seleksi adaptasi secara komprehensif. Integrasi ini diperlukan mengingat genetika kuantitatif telah sukses membantu pemulia tanaman, tetapi aplikasi statistika sering sulit dimengerti oleh seseorang yang bekerja pada genetika molekular. Ini merupakan kegiatan pengembangan program aplikasi ini ditujukan untuk mengintegrasikan beberapa metode analisis interaksi genotipe interaksi secara komprehensif.

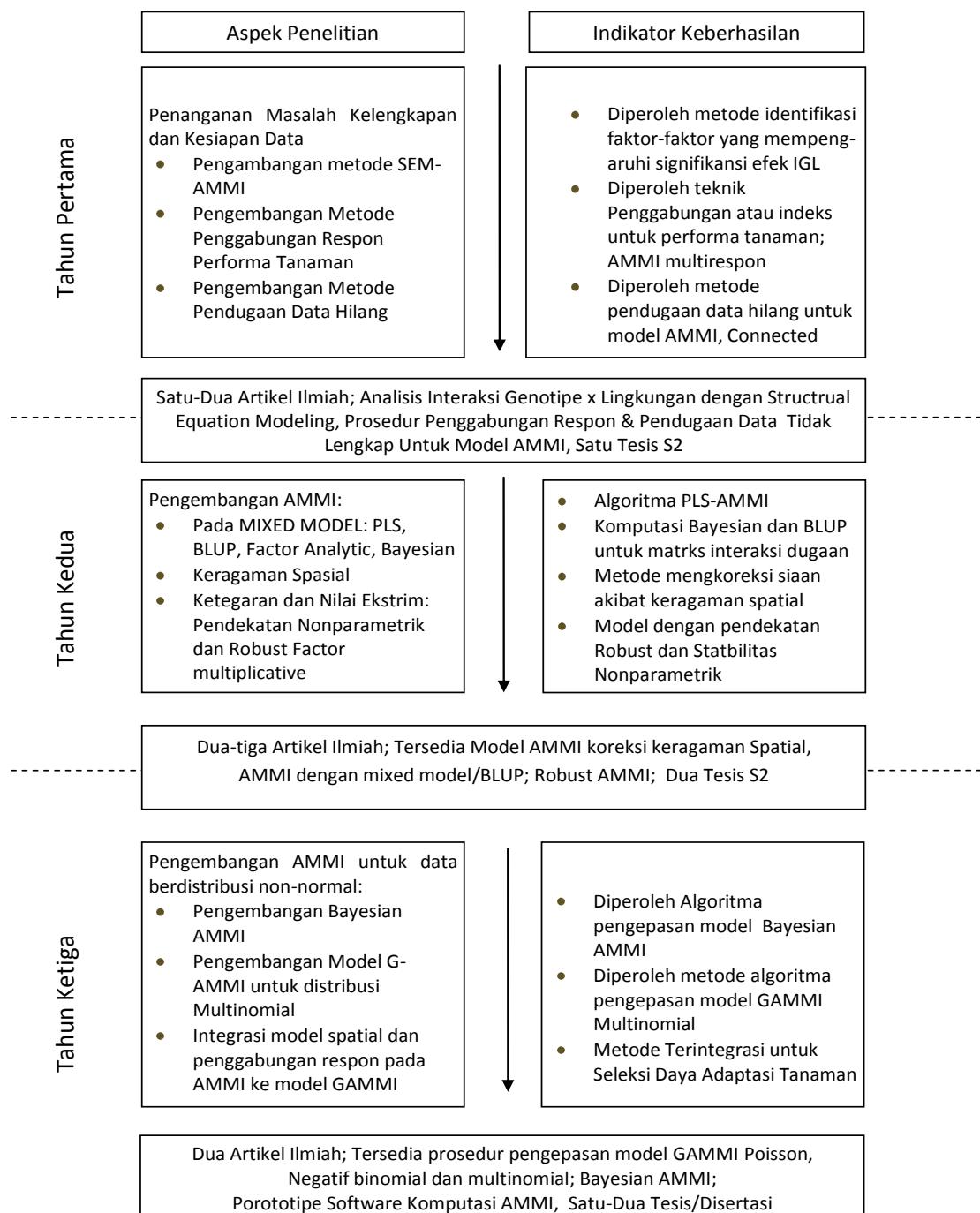


Gambar 2. Kerangka Penelitian dan Keterkaitan Topik

Ringkasan Capaian Indikator Kinerja Penelitian

Dari indikator kinerja dan target yang telah ditetapkan selama penelitian tiga tahun seperti pada gambar berikut, beberapa dapat dijelaskan dalam gambar 3. Dari segi artikel ilmiah, secara keseluruhan penelitian ini telah menghasilkan

sedikitnya 12 artikel ilmiah. Diseminasi dilakukan pada forum nasional dan internasional, 5 diantaranya pada forum seminar international.



Gambar 3. Indikator Keberhasilan dan Aspek Penelitian

Cukup membanggakan bahwa peneliti utama berkesempatan mendeseminaksikan roadmap penelitian ini pada kongres matematikawan/

statistikawan Indonesia (IndoMS) di Palembang pada Juli 2008 juga pada 3rd International Conference of Mathematics & Statistics (ICoMS3). Moslem Society of Mathematicians & Statisticians of South East Asia (MSMSE) di Bogor pada Agustus 2008. Sedangkan pada tahun berikutnya 2009 sebanyak 3 artikel telah dideseminasikan pada ICoMS4 di Bandar Lampung pada Agustus 2009, sedangkan 1 artikel telah diterima untuk dideseminasikan pada Konger Perhimpunan Pemulia Indonesia (PERIPI) di Bogor tanggal 17-19 Nopember 2009.

Publikasi hasil penelitian ini terdapat 7 artikel pada jurnal nasional 6 dintaranya telah terbit. Diantara 7 artikel publikasi ilmiah tersebut, 2 dintaranya pada jurnal nasional terakreditasi, 1 telah terbit pada 2010, 1 sedang dalam proses revisi. Selengkapnya liat Tabel 1.

Tabel 1. Artikel Publikasi Hasil Penelitian pada Jurnal Nasional (2 diantaranya jurnal Nasional Terakreditasi)

No.	Judul	Penulis	Jurnal
1	Analisis Interaksi Genotipe x Lingkungan Menggunakan Structural Equation Modeling	I M Sumertajaya, A. A. Mattjik & IGN Midrajaya.	Journal Pythagoras. Vol. 4, No. 1, hal. 15-32. 2008
2	Analisis AMMI untuk Stabilitas Hasil Jagung	IGN Midra Jaya & AF Hadi.	Jurnal BI AStatistics, Vol. 2, No. 2, hal. 1-12. 2008
3	Pendugaan Data Tidak Lengkap Dalam AMMI	I M Sumertajaya & GNA Wibawa	Jurnal BI AStatistics Vol. 2, No. 2, hal. 58-71. 2008
4	Indeks Stabilitas AMMI untuk Penentuan Stabilitas Genotipe pada Percobaan Multilokasi	H. Sa'diyah dan A A Mattjik..	Jurnal Ilmu Dasar Edisi Khusus. Terakreditasi. Submitted: 24 Juli 2009
5	Uji Lanjut Pengaruh Interaksi Multiplikatif Pada AMMI-1	Rusida Yuliyanti, A A Mattjik	Jurnal BI AStatistics Vol. 4, No. 1, Februari 2010
6	Analisis Interaksi Genotipe x Lokasi Menggunakan Metode Partial Least Square	I M Sumertajaya A A Mattjik	Jurnal BI AStatistics. Vol. 4, No. 1, hal. Februari 2010
7	Generalized AMMI Models For Assessing The Endurance of Soybean to Leaf Pest.	AF Hadi dan A A Mattjik.	Jurnal Ilmu Dasar Terakreditasi. Vol 11. N0. 2. Juli 2010. P 151-159
8	Pendugaan Daerah Kepercayaan dan Kestabilan Genotipe Pada Model AMMI Menggunakan Metode Resampling Bootstrap	Pepi Novianti, A A Mattjik dan I M Sumertajaya	Seminar Nasional Matematika Univeritas Parahiyangan Bandung, Oktober 2010

Tabel 2. Judul Tesis Mahasiswa Pascasarjana yang Telah Lulus

No	Judul Tesis	Mahasiswa & Pembimbing	Tanggal Lulus
1	Analisis Interaksi Genotipe × Lingkungan Menggunakan Model Persamaan Struktural pada AMMI.	I G N Mindra Jaya Pembimbing: Dr. I Made Sumertajaya, MS. dan Farit M. Afendi, MSi	23 Januari 2009
2	Identifikasi Genotype yang Memberikan Kontribusi terhadap Interaksi Genotype × Lingkungan pada Model AMMI	Rusida Yulianti Pembimbing: Prof. Dr. Ir. A. A. Mattjik, MSc. dan Dr. Ir. Totong Martono	26 Februari 2009
3	Pendekatan Bayes Pada Pendugaan Matriks Interaksi Dalam Model AMMI.	Pika Silvianti Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Khairil A. Notodiputro dan Dr. Ir. I Made Sumertajaya.	6 Januari 2010
4	Penerapan Model Campuran Pada Percobaan Multilokasi	Halimatus Sa'diyah Pembimbing: Prof. Dr. Ir. A. A. Mattjik, MSc. dan Dr. I Made Sumertajaya, MS.	12 Mei 2010
5	Klasifikasi Genotype Dengan Pendekatan Indeks Stabilitas Non-Parametrik	Sri Zulhayana Pembimbing: Dr. I Made Sumertajaya, MS. dan Prof. Dr. Ir. A. A. Mattjik, MSc	20 Mei 2010
6	Pendugaan Daerah Kepercayaan Dan Kestabilan Genotype Pada Model Ammi Menggunakan Metode Resampling Bootstrap	Pepi Novianti Dr. I Made Sumertajaya, MS. dan Prof. Dr. Ir. A. A. Mattjik, MSc.	2 Juli 2010

Penelitian ini melibatkan 9 orang mahasiswa pascasarjana 2 diantaranya program doktor. Kesembilan mahasiswa ini 6 diantaranya telalu lulus, tersisa tiga orang mahasiswa. Dengan hasil sementara ini, target untuk mandapatkan prototipe komputasi sejauh ini telah diperoleh, seorang mahasiswa S2 sedang menyelesaiannya, telah melaksanakan seminar hasil dan diharapkan lulus pada bulan depan. Dua orang mahasiswa S3 sedang dalam proses penyelesaian penelitian disertasi. Salah seorang diantarnya telah melewati ujian prakualifikasi doktoral, telah melakukan seminar kolokium dan memperoleh satu paper yang terbit pada Jurnal Nasional dan sedang mengikuti program sandwich dari DIKTI sampai bulan januari mendatang. Diharapkan selesai pada pertengahan tahun depan. Target untuk mandapatkan prototipe komputasi sejauh ini telah diperoleh, seorang mahasiswa sedang menyelesaiannya dan diharapkan dapat mempresentasikan hasilnya akhir tahun ini, dan lulus awak tahun depan (Tabel 3)

Tabel 3. Kemajuan Studi Mahasiswa Pascasarjana yang belum lulus per November 2010

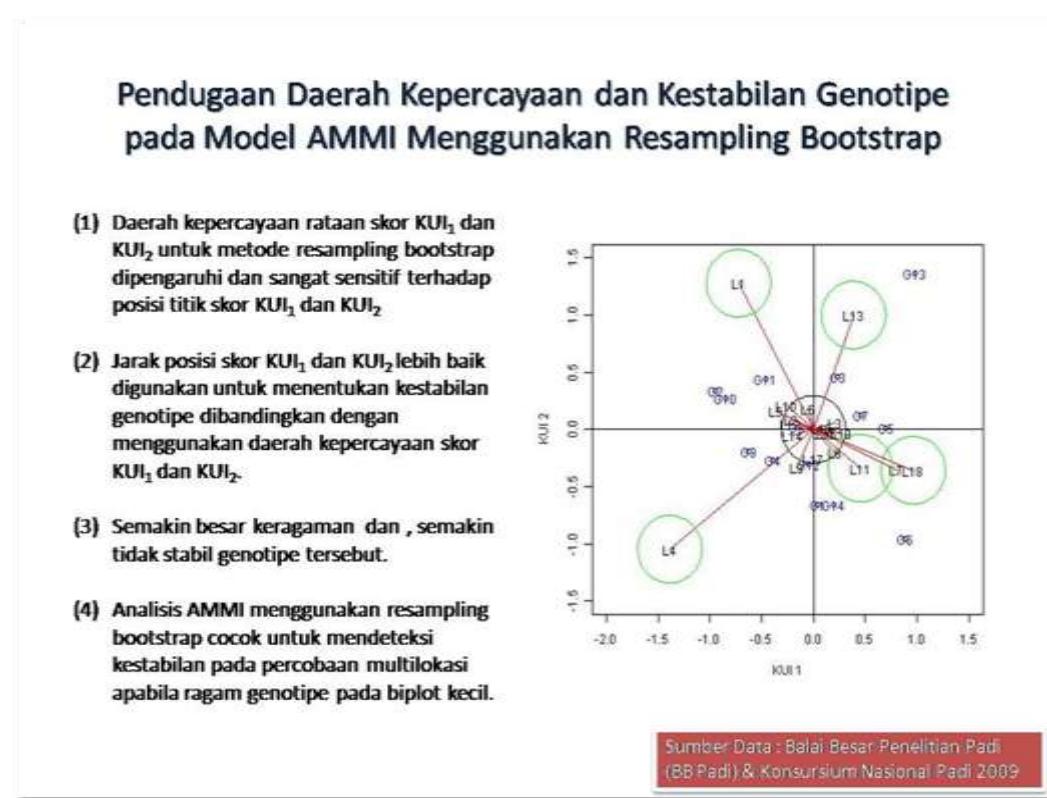
No	Nama Mahasiswa [NRP/Jemjang]	Kemajuan Studi	Perkiraan Lulus
1	Alfian Futuhul Hadi G 161070021/S3	Telah melaksanakan Kolokium tanggal 10 Juni 2010. Sudah mempublikasi 1 paper pada Jurnal Nasional Terakreditasi. Sedang menyelesaikan Disertasi dan mengikuti program Sandwich ke University of Auckland, New Zealand.	Akhir Tahun Ajaran 2010-2011
2	Gusti Ngurah Adhi Wibawa G 161070041/S3	Telah lulus ujian preliminary tertulis Sedang menyelesaikan penyusunan proposal Disertasi.	Akhir Tahun Ajaran 2010-2011
3	Achi Rinaldi G 151080071/S2	Telah melasananakan Seminar Hasil Penelitian Tesis pada 6 Desember 2010, sedang mempersiapkan ujian Tesis (desember 2010 atau Januari 2011).	Akhir tahun 2010 atau awal 2011.

Hasil Penting

Perluasan cakupan penelitian dapat terjadi pada dua hal. Pertama, selain masalah-masalah pemuliaan dan proteksi tanaman, masalah lain yang melibatkan prevalensi dapat didekati dengan model bilinier ini. Beberapa masalah pembangunan seperti masalah sosial-kependudukan dan ekonomi tentu melibatkan interaksi-interaksi yang tidak mudah dijelaskan. Perluasan pertama ini berkenaan dengan perluasan pada bidang penerapan model. Tidak hanya pada bidang pertanian dan pemuliaan, mungkin pada bidang-bidang sosial, politik dan pemasaran. Perluasan kedua dapat dilakukan secara khusus pada model GAMMI untuk data cacahan, sebaran Poisson menemui fenomena menarik dengan kasus kasus seperti Zero Inflated Poisson ataupun Negative Binomial Counts. Hal ini membawa kita pada suatu kelas pemodelan statistika yang lebih luar yaitu interaksi/asosiasi tabel dua arah baris-kolom (Row-Column Two Ways Tabel Assosiasi) yang bersisikan data cacahan.

Hasil menarik ditemui dalam penelitian ini, yaitu pertama, tentang *Sirkular Statistics*, sebuah ide lama yang inspiratif baik dalam penelitian ini ataupun untuk penekjaaan penelitian beikutnya. Pemanfaatan untuk memberikan inferensia pada sebuah titik pada biplot pada AMMI melalui distribusi Sirkular Normal, telah menunjukkan bahwa perlu cara pandang yang sedikit berbeda terhadap besaran

dan arah pasa suatu pengukuran. Suatu kajian matematis dan sedikit filofosis menarik untuk dilakukan terkait dengan cara pandang yang berbeda terhadap konsep besaran dan arah pasa suatu pengukuran menurut Circular Statistics (gambar 4).

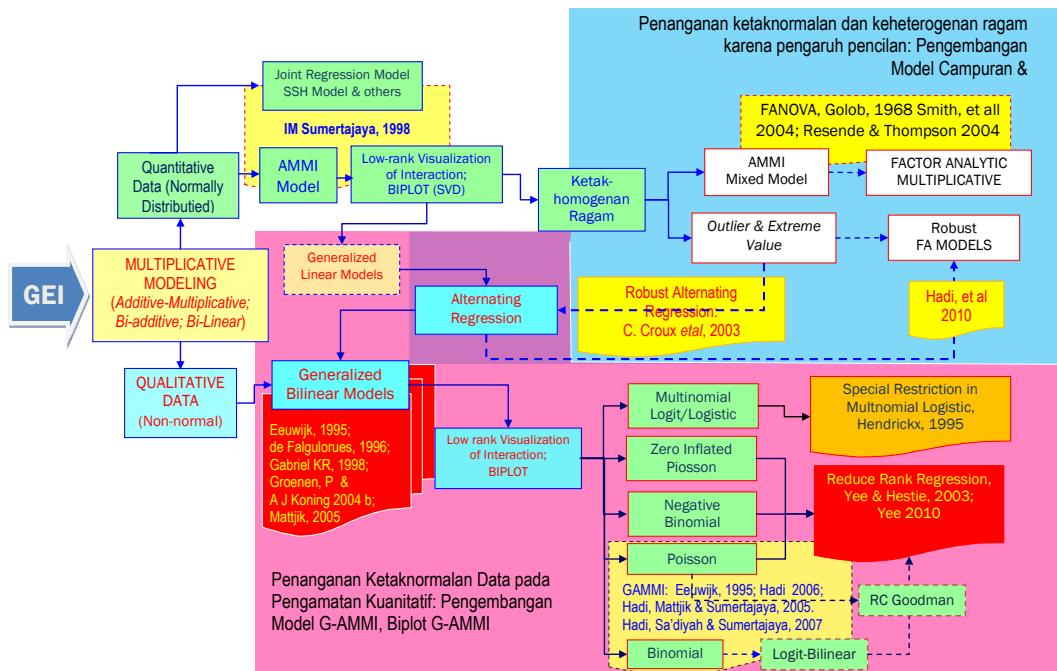


Gambar 4. Pendugaan Selang Kepercayaan Biplot AMMI dengan konsep Sircular Statistics

Hasil penting kedua, algoritma regresi bolak-balik pada model AMMI pengamatan kualitatif/kategorik yang berdistribusi non-normal dan Robust AMMI. Dari sisi pendugaan parameter, terdapat setidaknya 3 kriteria pendugaan parameter dalam penelitian ini yaitu kuadrat terkecil, simpangan mutlak terkecil dan maksimum likelihood/quasi likelihood. Dari sisi komputasi, fokus disertasi ini terdapat pada algoritma regresi bolak-balik (*alternating regression*). Keparalelan ini menarik untuk dikaji lebih jauh sebagai topik penelitian dasar satiksika dan komputasi (gambar 5).

Selain itu, penyediaan aplikasi komputer sebagai upaya untuk menyediakan software alternatif dengan beberapa keunggulan antara lain (i) dikembangkan

menggunakan software R yang gratis, (ii) dilengkapi Graphical User Interface (GUI) untuk memudahkan penggunaan, (iii) memiliki kekhususan pada pengembangan metode AMMI.



Gambar 5. Alternating Regression pada pengembangan model AMMI

Pengembangan Lebih Lanjut (*further works*)

Kajian perbandingan lebih lanjut, (1) perbandingan performa BLUP dan BAYES pada pendugaan matriks interaksi, dan (ii) karena pengunaan Bayes yang telah dilakukan baru pada kondisi keragaman data yang sangat terbatas, maka perlu dilakukan pengembangan metode Bayes pada kondisi keragaman data yang lebih umum. Disamping itu perlu pula pengembangan Bayesian pada pemodelan AMMI secara lengkap dalam mendekomposisi interaksi bukan hanya pada pendugaan matriks interaksi. Topik-topik ini potensial untuk dijadikan topik riset dasar. (2) Perbandingan performa metode ketabilan Non-Parametrik dan Robust AMMI, terhadap suatu kondisi terdapatnya pengamatan penciran.

DAFTAR PUSTAKA

- Albert, Jim. 2007. Bayesian Computation with R. <http://www.springerlink.com/content/t43r812716455567/>.
- Alberts, Martin J. A. 2004. A Comparison Of Statistical Methods to Describe Genotype X Environment Interaction and Yield Stability in Multi-Location Maize Trials. Bloemfontein: University Of The Free State. <http://etd.uovs.ac.za/ETD-db//theses/available/etd-09072005-084932/unrestricted/ALBERTSMJA.pdf>.
- Berger, J.O. 1985. Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis, 2nd edision. Springer Verlag. NY.
- Casella, G., and E. I. George. 1992. Explaining the Gibbs sampler. American Statistician. 46, 167-174. <http://www.jstor.org/stable/2685208?origin=JSTOR-pdf> [29 Mei 2009].
- Chernick MR. 2008. Bootstrap Methods: a Guide for Practitioners and Researchers, 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Son, Inc.
- Cornelius PL, Crossa J, Seyedsadr MS. 1996, Statistical Test and Estimators of Multiplicative Models for GEI. In Genotype by Environment Interaction, Manjit S. Kang, & HG. Gauch (eds), CRC Press. (pp. 200)
- Cotes, Jose M., J. Crossa, A. Sanches, and P.L. Cornelius. 2006. A Bayesian Approach for Assessing the Stability of Genotypes. <http://crop.scijournals.org/cgi/content/full/46/6/2654> [2 Juni 2008]
- Crossa J. 1990. Statistical Analysis of Multilocation Trials. Advances in Agronomy, 44 : 55-85.
- Croux C. & P. Filzmoser. 1998. Robust Factorization of a DataMatrix. Working paper. Online resources : <http://www.statistik.tuwien.ac.at/public/filz/papers/cstat98.ps>.
- Croux C., P. Filzmoser, G. Pison and P.J. Rousseeuw, 2003. Fitting Multiplicative Models by Robust Alternating Regressions. Statistics & Computing. Vol.13 No.1 p.23-36.
- de Falguerolles A. and Francis B. 1992. Algorithmic approaches for fitting bilinear models. COMPSTAT 1992, Proceedings in Computational Statistics, Vol. 1 (eds. Y. Dodge and J. Whittaker), Heidelberg, Physica-Verlag, pp. 77-82.
- de Falguerolles, A, 1996. Generalized Linear-Bilinear Models. An Abstract. Society of Computational Economics. 2nd International Conference on Computing and Finance. Genewa, Switzerland, 26–28 June 1996. <http://www.unige.ch/ce/ce96/defalgue/>

- Dhillon, I.S., and S. Sra. 2003. Modeling Data using Directional Distributions. Technical report. UTCS technical report.
- Edwards, Jode W. and Jean-Luc Jannink. 2006. Bayesian Modeling of Heterogeneous Error and Genotype Environment Interaction Variances. <http://crop.scijournals.org/cgi/content/full/46/2/820>. [11 Februari 2009]
- Efron B, Tibshirani R. 1993. An Introduction to the Bootstrap. New York: Chapman & Hall.
- Fisher, N.I., T.Lewis, and B.J.J. Embleton. 1987. Statistical Analysis of Spherical Data. Cambridge University Press. Cambridge.
- Gabriel K.R. 1978. Least squares approximation of matrices by additive and multiplicative models. Journal of the Royal Statistical Society B Vol. 40 No.2 p.186-196.
- Gabriel, K. R., 1998, Generalised Bilinear Regression. Biometrika. 85 (3):689-700.
- Gauch H.G. 1988. Model selection and validation for yield trial with interaction, Biometrics, 44:705-716.
- Gauch, H.G., Jr (1992) Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Gilks, W.R., S. Richardson and D.J. Spiegelhalter. 1996. Markov Chain Monte Carlo in Practice. Chapman & Hall. London.
- Gollob H.F. 1968. A Statistical Model which Combines Features of Factor Analytic and Analysis of Variance Techniques, Psychometrika, 33:73-116.
- Gower J. and Hand D. 1996. Biplots, Chapman & Hall, New York.
- Greenacre, M. J. 1984. Theory and Applications of Correspondence Analysis. Academic Press. London.
- Groenen, P.J.F and Alex J. Koning. 2004a. A New Model for Visualizing Interactions in Analysis of Variance. Econometric Institute Report EI 2004-06.
- Groenen, P.J.F and Alex J. Koning. 2004b. Generalized Bi-additive Modelling for Categorical Data. Econometric Institute Report EI 2004-05.
- Hadi A. F., A. A. Mattjik, I. M. Sumertajaya, & H. Sa'diyah. 2008a. AMMI Model on Count Data: Model Log-Bilinier. The 3rd International Conference on Mathematics and Statistics (ICoMS-3). Moslem Statistician and Mathematician in South East Asia (MSMSSEA). Bogor, Indonesia, 5-6 August 2008

- Hadi, A. F. & A. A. Mattjik, 2009a. Generalized AMMI Models For Assessing The Endurance of Soybean To Leaf Pest. The First International Seminar on Science and Technology (ISSTEC 2009). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 24 – 25 January 2009.
- Hadi, A.F, & A.A. Mattjik 2009b. Developing Robustness Of The AMMI Models By Robust Alternating Regression. Proceeding at The 4rd International Conference on Mathematics and Statistics. Bandar Lampung, August 2009.
- Hadi, A. F. & H. Sa'diyah, 2004. AMMI Model untuk Analisis Interaksi Genotip × Lokasi. Jurnal Ilmu Dasar 1:33-41
- Hadi, A. F., H. Sa'diyah, & I. M. Sumertajaya. 2007. Penanganan Ketaknormalan Data pada Model AMMI menggunakan Transformasi BoxCox. Jurnal Ilmu Dasar, Vol 8. No 2. pp. 165-174.
- Hadi A. F, I. M. Sumertajaya, & I.M. Tirta, 2008b. Model AMMI pada Data Binomial: Model Logit-Bilinier. Seminar Nasional Sain dan Teknologi. Universitas Lampung, Bandar Lampung 17-18 Nopember 2008.
- Jammalamadaka SR, SenGupta A. 1963. Topics in Circular Statistics (Series on multivariate analysis ; vol. 5). Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Jaya IGMN. 2008. Analisis interaksi genotipe x lingkungan menggunakan model persamaan struktural [Tesis]. Bogor: Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Johnson, RA & D.W. Wichern 1998. Applied Multivariate Statistical Analysis. 4th ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Jolliffe, I T. 1986. Principal Component Analysis. Springer-Verlag. New York
- Kang MS. 2002. Genotype-Environment Interaction: Progress and Prospects. Di dalam : Kang MS, Editor. Quantitative Genetics, Genomic and Plant Breeding. Florida: CRC Pr. Hlm .221-243.
- Lavoranti OJ, et.al. 2007. Phenotypic stability via ammi model with bootstrap resampling. Boletim de Pesquisa Florestal. 2:45-52. http://www.lce.esalq.usp.br/tadeu/Osmir_Tadeu_Wojtek.pdf, [5 februari 2010].
- Liu, Genzhou. 2001. Bayesian Computation for Linear-Bilinear Model. University of Kentucky. Disertasi.
- Mardia, K.V. and P.E. Jupp.2000. Directional Statistics. Jonh Wiley & Sons Ltd. England.
- Mathews P. 2000. The circular normal distribution. Ohio: Mathew Malnar and Bailey, Inc. <http://www.mmbstatistical.com/ToT/distofr.pdf>. [18 Mei 2010].

- Mattjik A. A. & Sumertajaya I. M. 2002. Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan MINITAB. 2nd Ed. IPB Press. Bogor.
- Mattjik A. A., 2005. Interaksi Genotipe dan Lingkungan dalam Penyediaan Suumberdaya Unggul. Naskah Orasi Ilmiah Guru Besar Biometrika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- McCullagh, P. & Nelder, J. A. 1989. Generalized Linear Models. 2nd ed. Chapman and Hall, London.
- Morisson DF. 1978. Multivariate Statistical Methods, 2nd ed. Kogakusha: McGraw-Hill.
- Rencher AC. 2002. Methods of multivariate analysis 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Resende, M. D. P & R. Thompson, 2004. Factor Analytic Multiplicative Mixed Model in The Analysis of Multiple Experiments. Rev. Mat. Estat., vol. 22. No. 2. Sao Paulo.
- Robert, C.P and G. Casella. 2010. Introducing Monte Carlo Methods with R. Springer Verlag. NY.
- Smith. A., B. Cullis, D. Luckett, G. Hollamby and R. Thompson. 2002. Exploring genotype-environment data using random effects AMMI models with adjustments for spatial field trend: Part 1-2: Theory-Aplications. In. Kang, M.S. (Ed). Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding. CAB International, UK
- Sues, E.A and B.E. Tumbro. 2010. Introduction to Probability Simulation and Gibbs Sampling with R. Springer. NY.
- Sumertajaya, IM. 2005. Kajian Pengaruh Inter Blok dan Interaksi Pada Uji Lokasi Ganda dan Respon Ganda [Disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana IPB.
- Sumertajaya, I M. 1998. Perbandingan Model AMMI dan Regresi Linier untuk Menerangkan Pengaruh Interaksi Percobaan Lokasi Ganda. Tesis. Program Studi Statistika Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor
- Terbeck W. and Davies P. 1998. Interactions and Outliers in The Two-way Analysis of Variance, The Annals of Statistics, 26:1279-1305.
- Turner, H. & D. Firth, 2009. Generalized Nonlinear Models in R: An overview of the gnm package. University of Warwick, UK.
- Van Eeuwijk, F A, 1995. Multiplicative Interaction in Generalized Linear Models. Biometrics, 51, p. 1017–1032.

- Viele, Kert. And C. Srinivasan. 1999. Parsimonious estimation of Multiplicative Interaction in Analysis of Variance using Kullback-Leiber Information. <http://sclab.yonsei.ac.kr/publications/Papers/DJ/E01002220577%5B1%5D.pdf> [16 Mei 2009].
- Yee, T.W. & T.J. 2003. Hastie, Reduced-rank Vector Generalized Linear Models. Statistical Modelling; 3: 15–41.
- Yuliyanti R. 2009. Identifikasi genotipe yang memberikan kontribusi terhadap interaksi genotipe x lingkungan pada model ammi [Tesis]. Bogor: Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.

**PENGEMBANGAN METODE FUSI PROTOPLAS DENGAN TINGKAT
KEBERHASILAN PEMBENTUKAN FUSAN 25% UNTUK
MEMPEROLEH TANAMAN TRIPLOID JERUK GARUT TANPA BIJI
DENGAN PRODUKTIVITAS 15 TON/HA PADA UMUR 8 TAHUN:
ISOLASI PROTOPLAS, KULTUR PROTOPLAS, DAN REGENERASI
PROTOPLAS HASIL FUSI**

(Development of Protoplast Fusion Methods with 25% Efficiency Fusan Formation and to get Garut Tangerine Triploid Seedless with 15 ton/ha Productivity at 8 Years Old)

A Purwito¹⁾, A Husni, M Kosmiatin²⁾

¹⁾Dep. Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian IPB

²⁾Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian

ABSTRAK

Jeruk keprok adalah jeruk lokal unggulan Indonesia yang termasuk dalam *true species* dari genus Citrus. Jeruk ini rasanya manis dan tetapi bijinya relatif banyak (15-23 biji/buah). Perbaikan jeruk tanpa biji dapat dilakukan dengan manipulasi tingkat ploidi. Tanaman dengan tingkat ploidi yang triploid biasanya mempunyai buah yang steril (tanpa biji). Hibridisasi somatik melalui teknik fusi protoplas adalah terobosan teknik yang memungkinkan diperoleh tanaman dengan tingkatan ploidi yang meningkat. Strategi ini dilakukan pada perakitan jeruk keprok triploid karena teknik isolasi, fusi dan regenerasi protoplas jeruk keprok dengan tingkat ploidi diploid telah dikuasai. Bahan tanaman yang digunakan untuk produksi sel haploid embriogenik adalah Bahan tanaman kuncup bunga jeruk keprok diambil dari tanaman tua (\pm 20 tahun) dan tanaman okulasi dari tanaman tua (\pm 8 tahun) serta populasi sel haploid jeruk keprok Batu 55 dan keprok Garut. Populasi sel haploid disubkultur berulang setiap 4 minggu pada media *double layer*, yaitu media padat MT+pikloram+ekstrak malt dan media cair yang ditambahkan adalah dasar MT dengan zat pengatur tumbuh BA (0-3 mg/l) dan Pikloram 0-20 mg/l serta ditambahkan ekstrak malt 500 mg/l. Hasil penelitian diperoleh bahwa Eksplan kuncup bunga yang berasal dari tanaman yang lebih muda (8 tahun) lebih baik responnya dibandingkan eksplan yang berasal dari tanaman yang lebih tua (>30 tahun). Pra perlakuan dingin lebih dari 3 hari lebih respon membentuk kalus dari pada praperlakuan kurang dari 3 hari. Formulasi enzim terbaik untuk mengisolasi protoplas diploid (kalus dan daun *in vitro*) dan protoplas haloid (polen) adalah macerozim 0,5% dan selulase 0,5% dengan masa inkubasi enzim 16 jam (*overnight*). Konsentrasi PEG 20% memberikan jumlah fusian yang lebih banyak dibanding dengan PEG 4% baik yang biner fusi, homo fusi, dan multi fusi. Regenerasi pembentukan dinding sel fusian, pembelahan sel, dan pembentukan suspensi sel terbaik diperoleh dari formulasi media MW+EM 500 mg/l+2.4 D 0.1 mg/l+BA 3 mg/l.

Kata kunci : Citrus reticulata,tanpa biji, triploid, fusi, protoplas haploid, protoplas diploid.

ABSTRACT

Tangerine is a citrus seed Indonesia and including a true species of the genus Citrus. This orange tastes sweet but relatively many seeds fruit seed (15-23 seeds/fruit). Seedless citrus improvement can be done by manipulating the level ploidy. Plants with triploid ploidy level usually have sterile fruit (seedless). Somatic hybridization by fusion technique is a breakthrough technique that allows the plant generated by an increased level ploidy. The strategy chosen to assemble the triploid tangerine because the technique

of protoplast isolation, fusion and regeneration of tangerine with diploid level has been mastered ploidy. The plant material used for the production of embryogenic haploid cell is a tangerine flower buds were taken from older plants (\pm 20 years) and grafting plants from old plants (\pm 8 years) and the haploid cell population tangerine of Batu 55 and Garut and the haploid cell population of BAtu 55 and Garut tangerine. Haploid cell population repeatedly subcultured every 4 weeks in a double layer media: solid media MT + picloram + malt extract and liquid media, and liquid medium that added is the basic of the MT with growth regulators BA (0-3 mg / l) and Picloram 0-20 mg / l and add malt extract 500 mg/l. The plant material used for the production of diploid callus is a population of diploid cells induced from embryonic nucellar tangerine. Callus induction conducted on MS medium MW + vitamin + BA 3 mg / l malt extract + 500mg / l. The population of cells/callus that formed were subcultured every 4 weeks on MS or MW medium + vitamin + malt extract 500mg /l. Flower bud explants derived from young plants (8 years) responded better than explants from older plants ($>$ 30 years). Pre cold treatment for more than 3 days on the response forming callus from pretreatment less than 3 days. The best enzyme formulations for the isolation of protoplasts from diploid (callus and leaves *in vitro*) and protoplast Haploid (pollen) is macerozim 0.5% and 0.5% cellulase enzyme with incubation period of 16 hours (overnight). With the concentration of PEG of 20% gives fusan amounted to more than 4% PEG two binary fusion, fusion homo, and multi-fusion. Regeneration of cell wall formation and cell suspension fusan best media formulations obtained from MW+EM 500 mg /l 2.4 D 0.1 mg / l+BA 3 mg / l.

Keywords : Citrus reticulata,seedless, triploid, fusion, haploid protoplasts, diploid protoplasts

PENDAHULUAN

Jeruk keprok adalah salah satu jeruk lokal unggulan Indonesia yang termasuk dalam *true species* dari genus Citrus. Jeruk ini rasanya cukup manis dan hampir mendekati kategori tipe jeruk yang sesuai dengan kebutuhan pasar dunia untuk konsumsi dalam keadaan segar. Akan tetapi jeruk tersebut masih mempunyai biji yang relatif banyak, berkisar antara 15-23 biji per buah sehingga kalah bersaing dengan jeruk produk negara lain. Hal ini terbukti dengan maraknya buah impor jeruk di pasar lokal mulai dari kaki lima, toko dan supermarket yang menekan produk jeruk lokal sehingga menjadi terpuruk. Hal ini mengakibatkan kerugian bagi petani jeruk di Indonesia. Keadaan ini diperparah dengan mulai diberlakukannya ASEAN FTA/AFTA yang disusul dengan ASEAN-China FTA sehingga pasar sesama ASEAN termasuk Indonesia semakin terbuka bagi produk-produk pertanian dari negara-negara produsen jeruk (China, Amerika Serikat, Australia, dan Pakistan) yang tingkat pertumbuhannya sangat pesat dan mempunyai harga yang relatif lebih murah (Hutabarat dan Setyanto, 2007).

Untuk menghindari tekanan buah jeruk impor tersebut maka diperlukan sentuhan inovasi teknologi terhadap jeruk lokal untuk meningkatkan kualitas buah sehingga dapat diterima dan bersaing di pasar global. Salah satu cara yang dapat dilakukan secara efisien dan efektif adalah membuat tanaman jeruk lokal tipe baru yang *seedless* (tanpa biji) dan mempunyai warna yang menarik sehingga sesuai dengan permintaan pasar.

Perbaikan jeruk tanpa biji dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan cara manipulasi genetik pada tingkat ploidi. Perubahan tingkat ploidi akan menimbulkan perubahan ukuran dan vigoritas pohon, kualitas dan ketiadaan biji dalam buah (Mooney, *et al.*, 1997). Penggunaan kultivar poliploid mulai komersial sejak dikenalnya jeruk *Tahiti lime* yang merupakan jeruk triploid hasil poliploidisasi spontan (Bachi, 1940) dan tetraploid *Triphasia* (Esen dan Soost, 1972) yang merupakan jenis jeruk yang hampir tidak memiliki biji sama sekali.

Fenomena poliploid mempunyai peranan penting dalam proses evolusi pada banyak tanaman. Pemulia tanaman dapat melakukan manipulasi tingkat ploidi untuk mengamati tingkat keragaman melalui seleksi. Fenomena perubahan tingkat poliploidi ini sangat jarang ditemukan pada tanaman jeruk. Hal ini ditunjukkan oleh jarangnya ditemukan jeruk yang tetraploid dan triploid, yang pada umumnya adalah diploid dengan jumlah kromosom sebanyak 18 (Lapin, 1937). Hongkong wild kumquat dan *Triphasia* adalah poliploid dengan level tetraploid yang alami ditemukan pada tanaman jeruk (Esens dan Soost, 1972) dan Tahiti Lime yang merupakan jenis jeruk yang mempunyai ploidi triploid (Bachi, 1940).

Tanaman dengan tingkat ploidi yang triploid biasanya mempunyai buah yang steril (tanpa biji) sehingga mempunyai nilai komersial yang tinggi. Menurut Falavigna dan Rotino, (2005), tidak terbentuknya biji dalam buah dapat meningkatkan produktivitas dan mutu buah seperti pada tanaman pisang, terung, anggur, semangka dan persimmon. Penggunaan jeruk triploid lebih banyak digunakan karena tanaman lebih vigor dan daun lebih lebar serta lebih tebal (Gmitter dan Ling, 1991), tumbuh lebih cepat, panen lebih baik dan lebih dapat beradaptasi dengan lingkungan yang lebih luas dibanding tanaman jeruk tetraploid

(Usman, *et al.*, 2006). Dari segi ekonomis jeruk triploid memiliki nilai yang lebih baik dibanding jeruk tetraploid.

Perubahan tingkat ploidi pada tanaman jeruk dapat diperoleh secara alami ataupun dengan manipulasi kromosom. Secara alami perubahan tingkat ploidi sangat rendah persentasenya dan sangat bergantung pada kemampuan partenokarpi, mandul jantan/betina dan inkompatibilitas tanaman asal (Koltunow, *et al.*, 1997). Manipulasi kromosom dengan memanfaatkan agen mutagen seperti kolkisin telah banyak dilakukan (Mooney, *et al.*, 1997). Tanaman mutan kemudian diseleksi, tetapi tingkat kesulitan seleksinya cukup tinggi karena adanya berbagai tingkatan ploidi pada individu tanaman yang diperoleh setelah perlakukan (khimera). Meskipun demikian sudah diperoleh tanaman jeruk tetraploid dan triploid yang dihasilkan melalui manipulasi kromosom dengan teknik kultur *in vitro* walaupun keberhasilannya masih kecil (Zhang, *et al.*, 2007).

Selain dengan agen mutagen, tanaman jeruk triploid dapat juga diperoleh dengan cara menyilangkan jeruk tetraploid dengan diploid, kemudian dilakukan penyelamatan embrio. Cara ini sudah dilakukan di New Zealand dan Australia (Mooney *et al.*, 1997), tetapi tingkat rekombinasinya cukup tinggi sehingga proses seleksi cukup lama dan menyulitkan.

Teknik lain adalah dengan mengkulturkan jaringan endosperma triploid dan meregenerasikannya membentuk tanaman. Cara ini sulit juga dilakukan karena jaringan endosperma pada biji jeruk terbatas jumlah dan waktunya sehingga keberhasilan meregenerasikannya masih rendah (Mooney, 1997). Selain itu endosperma yang digunakanpun harus berasal dari persilangan terkontrol untuk mengurangi faktor segregasi.

Teknologi yang sekarang ini mulai banyak dilakukan adalah hibridisasi somatik antara protoplas diploid dengan protoplas haploid. Teknologi ini memungkinkan diperoleh populasi sel triploid tanpa khawatir terjadi segregasi, karena hibridisasi dapat dilakukan pada protoplas yang berasal dari tanaman yang sama. Protoplas diploid dapat diperoleh dari jaringan mesofil daun atau kalus,

sedangkan protoplas haploid dapat diambil dari polen atau kalus yang diinduksi dari sel-sel gamet.

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hibrida baru jeruk keprok dengan tingkatan ploidi triploid dengan memanfaatkan teknik hibridisasi somatik antara protoplas jeruk keprok diploid dan haploid sehingga diharapkan diperoleh tanaman jeruk keprok yang tidak berbiji.

METODE PENELITIAN

Produksi populasi sel haploid dan diploid

Bahan tanaman yang digunakan untuk produksi sel haploid embriogenik adalah populasi sel haploid jeruk keprok Batu 55 dan keprok Garut. Populasi sel haploid disubkultur pada media *double layer*, yaitu media padat MT+pikloram+ekstrak malt dan media cair yang ditambahkan adalah dasar MT dengan zat pengatur tumbuh BA (0-3 mg/l) dan Pikloram 0-20 mg/l serta ditambahkan ekstrak malt 500 mg/l. Penambahan media cair dilakukan setiap 4 minggu hingga terbentuk struktur embrio somatik. Populasi sel haploid yang membentuk struktur embrio somatik disubkultur pada media MS+Vitamin MW+ekstrak malt.

Populasi sel haploid yang dapat membentuk struktur embrio somatik diperbanyak dan dihitung jumlah kromosomnya dengan teknik squash atau dilihat tingkat ploidinya dengan flowcytometer.

Bahan tanaman yang digunakan untuk produksi kalus diploid adalah populasi sel diploid yang diinduksi dari embrio nuselar jeruk keprok. Induksi kalus dilakukan pada media MS+vitamin MW+BA 3 mg/l+ ekstrak malt 500mg/l. Populasi sel/kalus yang terbentuk disubkultur tiap 4 minggu pada media MS+vitamin MW+ekstrak malt 500mg/l.

Pengamatan dilakukan pada visual biakan, pertumbuhan kalus, dan persentase pembentukan struktur embrio somatik.

Isolasi dan fusi protoplas antara populasi sel haploid dengan diploid

Bahan tanaman yang digunakan sebagai sumber protoplas adalah populasi sel haploid dan diploid serta daun *in vitro* jeruk keprok terpilih. Tahapan isolasi protoplas pada percobaan ini mulai dari pemecahan populasi sel menjadi agregat, penggoresan bagian mesofil daun, inkubasi dalam larutan enzim, pemurnian protoplas, pencucian protoplas dan penghitungan kerapatan protoplas.

Enzim yang digunakan untuk isolasi protoplas adalah enzim selulase Onozuka RS10-Yakult, macerozim RS10-Yakult, dan pectolyase Y-23 -Sigma dengan penambahan 0,7 M manitol, 24,5 mM CaCl₂, 0,92 mM NaH₂PO₄, dan 6,15 mM MES yang disterilisasi dengan millifor 0,22 mikron.

Metode yang digunakan untuk isolasi protoplas menggunakan kombinasi metode Grosser and Gmitter Junior (1990) dan Sihachakr, (1998) dengan cara memasukkan 1 g populasi sel atau daun *in vitro* ke dalam 5 cawan petri yang telah berisi 5 ml larutan enzim.

Inkubasi populasi sel dan daun *in vitro* dalam larutan enzim dilakukan tanpa cahaya pada suhu ruang selama 16 jam (*overnight*). Untuk membantu lepasnya sel protoplas dari jaringan mesofil daun dilakukan penggoongan perlahan secara horizontal selama 30-60 detik pada akhir inkubasi. Suspensi siap untuk disaring dan dilakukan pemurnian dan pengapungan protoplas. Pada proses ini digunakan kombinasi sukrosa konsentrasi tinggi dan atau dikombinasikan dengan manitol.

Protoplas yang diperoleh kemudian dimurnikan dengan metode Husni *et al.*(2004). Sebelum dilakukan fusi protoplas, densitas protoplas baik dari populasi sel haploid dan diploid maupun dari daun *in vitro* dipastikan memiliki densitas 10⁴ protoplas/ml. Protoplas yang akan difusikan dicampur dengan perbandingan yang sama (1:1 v:v), campuran tersebut diambil sebanyak 500 µl dan dimasukkan ke dalam masing-masing petridis plastik disposibel Ø 5 cm dan dibiarkan selama 5 menit sehingga protoplas mengendap. Untuk menginduksi terjadinya fusi dilakukan secara kimiawi dengan menambahkan larutan PEG konsentrasi 4 dan 20% sebagai perlakuan dengan cara menambahkan 100 µl larutan PEG di empat titik sekeliling suspensi protoplas yang telah dicampur, lalu dibiarkan selama 1-5 menit. Dari perlakuan konsentrasi larutan PEG tersebut akan diperoleh

konsentrasi dan waktu inkubasi yang paling baik untuk menginduksi terjadinya fusi protoplas pada tanaman jeruk.

Pengamatan dilakukan secara mikroskopik untuk mengamati protoplas yang diperoleh, penghitungan densitas protoplas dilakukan dengan hemositometer, jumlah dan persentase protoplas yang mengalami fusi.

Regenerasi sel hibrid

Penelitian dilakukan untuk meregenerasikan sel-sel hybrid hasil fusi antara protoplas haploid dan diploid. Mikrokalus fusan yang terbentuk disubkultur pada media. Protoplas yang telah difusikan dengan larutan PEG dengan efisiensi fusi tertinggi dikulturkan untuk meregenerasi dinding sel protoplas.

Media kultur yang digunakan untuk meregenerasi dinding sel, pembelahan sel dan pembentukan mikrokalus adalah media MT + 500 mg/l EME (Grosser and Gmitter Junior, 1990) dan media MS + Vitamin Morell + 500 mg/l EME (Husni, 2005) dengan penambahan kombinasi BA dengan NAA yang diseterilisasi dengan filter 0,22 mikron. Kultur disimpan dalam inkubator dalam keadaan gelap pada suhu 28⁰C sampai terbentuk dinding sel dan mampu melakukan pembelahan.

Kultur sel fusan dipindahkan pada kondisi kultur dengan suhu 19 – 28⁰ C untuk mendorong pembelahan sel sampai terbentuk koloni sel. Agar koloni sel yang dihasilkan bertambah banyak, ditambahkan media yang sama kemudian kultur dipindahkan ke dalam ruangan yang diberi cahaya ±1000 lux dengan suhu 19- 25⁰C.

Pengamatan dilakukan secara mikroskopik (*in verted*) terhadap pertumbuhan dan perkembangan setiap sel sampai membentuk embrio.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi populasi sel haploid dan diploid

Bahan tanaman kuncup bunga jeruk keprok diambil dari tanaman tua (\pm 20 tahun) dan tanaman okulasi dari tanaman tua (\pm 8 tahun). Kuncup bunga di pra perlakukan pada temperatur dingin (\pm 10⁰C) dengan variasi lama simpan kuncup bunga 1-7 hari. Antera diisolasi dari kuncup bunga yang sudah dipraperlakukan

dingin dan telah steril. Antera dikulturkan pada formulasi media dasar MS modifikasi dan MT dengan penambahan zat pengatur tumbuh 2,4 D dan pikloram.

Pada eksplan yang berasal dari tanaman jeruk keprok tua terlihat respon antera pada media *in vitro* tidak begitu baik baik pda media dasar. Hal ini ditunjukkan dengan tingginya persen eksplan yang mengalami kematian(Tabel 1). Eksplan yang tidak mati umumnya tidak mengalami pertumbuhan. Eksplan yang berespon positif, membengkak dan mengkalus sangat rendah.

Pra perlakuan dingin tidak memberikan pengaruh karena eksplan yang mati terjadi pada seluruh praperlakuan, mulai penyimpanan 1 hari sampai 7 hari. Antera yang mengkalus hanya 3,13% (Tabel 1) yang ditumbuhkan pada media dasar MT dengan penambahan 2,4-D 20 mg/l serta sudah dipraperlakukan dingin selama 5 hari.

Hasil ini berbeda dengan antera jeruk keprok Garut yang disimpan selama 3 hari pada temperatur rendah, antera ini mampu membentuk kalus pada media dasar MT dengan penambahan 30 mg/l pikloram maupun 2,4-D (Kosmiatin *et al*, 2009). Pada antera yang diambil dari tanaman jeruk keprok hasil okulasi dari tanaman jeruk keprok tua yang berumur sekitar 8 tahun, respon *in vitro* antera sangat berbeda dengan antera dari tanaman induknya. Antera yang berasal dari tanaman yang relatif muda lebih respon pada seluruh perlakuan formulasi media. Pra perlakuan yang diuji menunjukkan kecenderungan bahwa lama penyimpanan yang lebih lama pada suhu mempunyai respon yang lebih baik. Hal ini ditunjukkan dengan rendahnya kematian antera pada pra perlakuan 5 dan 7 hari dibandingkan pra perlakuan 1 hari (Tabel 2). Penyimpanan pra perlakuan 1 hari pada suhu dingin mengalami kematian 100% antera atau kontaminasi. Persentase kematian antera terendah (0%) berasal dari antera yang disimpan selama 3 hari atau lebih dari 3 hari pada suhu rendah. Pada *C. Clementina* pra perlakuan dilakukan pada suhu rendah selama 8-15 hari. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa kondisi viabilitas antera dapat dipertahankan dan menunjukkan perkembangan mikrospora dengan inti tunggal tertinggi (Germana, 2003). Hasil penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa kuncup bunga jeruk keprok mulai mencoklat bila disimpan lebih dari 5 hari dan setelah 7 hari dan akhirnya menjadi layu. Hal ini terjadi karena jarak lokasi tanaman jeruk keprok yang sangat jauh

dari laboratorium, sehingga memerlukan penanganan yang lebih baik selama dalam perjalanan.

Tabel 1. Respon antera yang berasal dari tanaman jeruk keprok tua setelah disimpan 1, 3, 5, dan 7 hari serta formulasi media dasar kultur yang digunakan.

Formulasi Media (mg/l)	Pra perlakuan (hr)	\sum antera	% respon antera pada formullasi media induksi kalus			
			Tetap	Mati	Bengkak	Klus
MS+Pik 10	1	Ktm	-	-	-	-
	3	13	100	0	0	0
	5	25	100	0	0	0
	7	ktm	-	-	-	-
MS+Pik20	1	Ktm	-	-	-	-
	3	25	100	0	0	0
	5	16	0	100	0	0
	7	25	100	0	0	0
MS+Pik 30	1	Ktm	-	-	-	-
	3	22	100	0	0	0
	5	27	66,67	14,81	18,52	0
	7	23	91,30	8,70	0	0
MS+2,4-D 10	1	Ktm	-	-	-	-
	3	25	100	0	0	0
	5	8	100	0	0	0
	7	12	33,33	66,67	0	0
MS+2,4-D 20	1	Ktm	-	-	-	-
	3	14	78,57	21,43	0	0
	5	19	100	0	0	0
	7	14	100	0	0	0
MS+2,4-D 30	1	Ktm	-	-	-	-
	3	16	43,75	56,25	0	0
	5	16	100	0	0	0
	7	15	33,33	66,67	0	0
MT+Pik 10	1	Ktm	-	-	-	-
	3	30	23,33	76,67	0	-
	5	13	23,08	76,92	0	-
	7	18	11,11	50,00	38,89	-
MT+Pik20	1	Ktm	-	-	-	-
	3	30	30,00	70,00	0	0
	5	Ktm	-	-	-	-
	7	17	0	100	0	0
MT+Pik 30	1	15	46,67	53,33	0	0
	3	31	22,58	77,42	0	0
	5	13	38,46	61,54	0	0
	7	Ktm	-	-	-	-
MT+2,4-D 10	1	Ktm	-	-	-	-
	3	30	13,33	86,67	0	0
	5	26	26,92	53,85	19,23	0
	7	Ktm	-	-	-	-
MT+2,4-D 20	1	Ktm	-	-	-	-
	3	15	6,67	73,33	20,00	0
	5	32	21,87	56,25	18,75	3,13
	7	14	0	100	0	0
MT+2,4-D 30	1	15	46,67	53,33	0	0
	3	29	24,14	75,86	0	0
	5	15	33,33	66,67	0	0
	7	13	15,38	84,62	0	0

Keterangan : MS = Media dasar MS +vitamin Morel dan Weitmore;MT = Media dasar MT Pik = Pikloram; Perlakuan dingin pada temperatur 10°C

Menurut Custer (2003), kuncup bunga yang digunakan sebagai sumber mikrospora untuk kultur haploid harus secepat mungkin dibawa ke laboratorium untuk mempertahankan viabilitas anteranya. Selain itu, formulasi media kultur dan cara penyimpanan juga sangat mempengaruhi keberhasilan kultur haploid.

Formulasi media dasar yang digunakan yaitu MS modifikasi dan MT. Ke dua media dasar tersebut dapat digunakan sebagai media kultur untuk menginduksi terjadinya pembentukan kalus dari antera. Kedua jenis media dasar ini juga tetap memberikan hasil yang baik bila dikombinasikan dengan zat pengatur tumbuh kelompok auksin 2,4-D maupun pikloram. Meskipun kedua jenis media dasar tersebut berhasil menginduksi pembentukan kalus, persentase pembentukan kalus tertinggi diperoleh dari antera yang di pra perlakukan selama 7 hari dan dikulturkan pada media MS modifikasi dengan penambahan pikloram 30 mg/l (82,35%, Tabel 2). Hasil yang cukup baik juga diperoleh dari antera yang diperlakukan sama tetapi dikulturkan pada media MS modifikasi yang dikombinasikan dengan 2,4-D 20 mg/l (80,65%, Tabel 2). Dari hasil ini terlihat bahwa penggunaan auksin pikloram maupun 2,4-D efektif menginduksi pembentukan kalus pada media dasar MS modifikasi.

Penggunaan MS modifikasi lebih baik dari pada MT, hal ini terjadi karena vitamin MW yang ditambahkan pada medium basal mengandung komposisi yang lebih komplek daripada MT. Vitamin MW terdiri dari kombinasi myo-inositol, asam nikotinat, thiamin, pyridoksin, biotin, asam folat dan kalsium panthotenat, sedangkan vitamin MT hanya terdiri dari kombinasi myo-inositol, asam nikotinat, thiamin, pyridoksin. Penggunaan komposisi vitamin yang komplek banyak berhasil pada dalam kultur antera *C. Clementina* (Germana, 2003); asparagus (Falagvina *et al.*, 1999); *Brassica sp* (Ferrie, 2003); Rye (Pulli dan Guo, 2003).

Hasil penelitian ini juga memperlihatkan bahwa bahan tanaman yang diambil dari tanaman yang berbeda umurnya mempunyai respon yang berbeda pula terhadap media kultur yang digunakan, meskipun jenis jeruk yang digunakan sama.

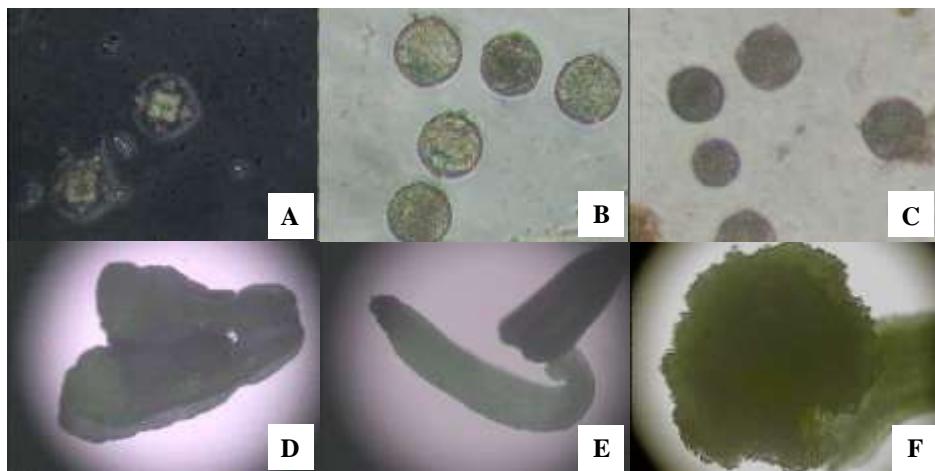
Hal ini juga sesuai dengan yang terjadi pada kultur antera *C. clementina* dan tanaman berkayu lainnya, dimana keberhasilannya sangat ditentukan oleh genotipe, kondisi fisiologi tanaman donor (Germana *et al.*, 2000).

Tabel 2. Respon antera yang berasal dari tanaman jeruk keprok okulasi setelah disimpan 1, 3, 5, dan 7 hari serta formulasi media dasar kultur yang digunakan.

Formulasi Media (mg/l)	Pra perlakuan (hari)	\sum antera	% respon antera pada formullasi media induksi kalus			
			Tetap	Mati	Bengkak	Kalus
MSPik 10	1	Ktm	-	-	-	-
	3	26	84,62	0	15,38	0
	5	24	0	58,33	0	41,67
	7	34	5,88	38,24	26,47	29,41
MSPik20	1	Ktm	-	-	-	-
	3	Ktm	-	-	-	-
	5	31	48,39	0	35,48	16,13
	7	10	60,00	10,00	30,00	0
MSPik 30	1	Ktm	-	-	-	-
	3	16	100	0	0	0
	5	28	32,14	0	32,14	35,71
	7	17	17,65	0	0	82,35
MS2,4-D 10	1	Ktm	-	-	-	-
	3	34	76,47	0	11,76	11,76
	5	15	20,00	33,33	46,67	0
	7	17	0	0	41,18	58,82
MS2,4-D 20	1	Ktm	-	-	-	-
	3	29	100	0	0	0
	5	15	0	0	100	0
	7	31	0	0	19,35	80,65
MS2,4-D 30	1	Ktm	-	-	-	-
	3	14	78,57	0	21,43	0
	5	34	2,94	41,18	8,82	47,06
	7	30	40,00	0	53,33	6,67
MTPik 10	1	Ktm	-	-	-	-
	3	14	50,00	35,71	14,29	0
	5	28	25,00	35,71	32,14	7,14
	7	15	13,33	33,33	53,33	0
MTPik20	1	14	0	100	0	0
	3	17	41,18	41,18	17,65	0
	5	16	0	0	37,50	62,50
	7	ktm	-	-	-	-
MTPik 30	1	36	16,67	83,33	0	0
	3	29	34,48	48,28	17,24	0
	5	Ktm	-	-	-	-
	7	13	23,08	46,15	23,08	7,69
MT2,4-D 10	1	15	0	100	0	0
	3	15	46,67	40,00	13,33	0
	5	32	6,25	37,50	34,38	21,88
	7	ktm	-	-	-	-
MT2,4-D 20	1	Ktm	-	-	-	-
	3	18	22,22	77,78	0	0
	5	14	0	50,00	7,14	14,29
	7	16	0	25,00	31,25	43,75
MT2,4-D 30	1	18	0	100	0	0
	3	16	37,50	43,75	18,75	0
	5	26	23,08	42,31	15,38	7,69
	7	30	13,33	23,33	30,00	33,33

Keterangan :MS = Media dasar MS +vitamin Morel dan Weitmore; MT = Media dasar MT Pík = Píkloram; Perlakuan dingin pada temperatur 10°C

Meskipun tanaman jeruk keprok muda berasal dari tanaman yang sama ternyata respon antera tanaman muda lebih baik dari tanaman induknya. Menurut Reed (2005), umur dan kondisi fisiologi tanaman donor sangat mempengaruhi hasil dari penelitian androgenesis.



Gambar 1. Perkembangan Mikrospora (A. Tetrad; B. Inti tunggal; C. Inti Ganda) dan kalus yang baru terinduksi pada antera jeruk keprok (D,E, dan F)

Untuk mendorong pertumbuhan dan perkembangan kalus tersebut disub kultur kembali pada media yang sama (media induksi kalus) dengan interval subkultur diperpendek menjadi 2-4 minggu atau ketika kalus memperlihatkan perubahan warna menjadi coklat. Hasil sub kultur berulang yang telah dilakukan (7 kali sub kultur) pada media yang sama dengan media induksi kalus terlihat biakan antera jeruk keprok yang tetap hidup dan membentuk kalus jumlahnya tidak berubah (Tabel 3 dan 4). Hal ini menunjukkan bahwa sub kultur setiap 4 minggu berhasil mempertahankan viabilitas biakan, akan tetapi belum mampu menginduksi pembentukan kalus atau sel-sel baru. Untuk memacu pembelahan sel dan mempertahankan viabilitas biakan pada sub kultur ke 7 ditambahkan casein hidrolisat pada media kultur. Respon biakan terhadap penambahan casein hidrolisat belum terlihat perubahannya sampai saat pelaporan data.

Tabel 3. Respon antera jeruk keprok Garut pada sub kultur berulang (sub kultur 4 dan 7) pada media yang sama dengan induksi kalus

Media (mg/l)	Sub kultur ke - 4 (%)			Sub kultur ke - 7 (%)		
	Kalus	Bengkak	Tetap	Kalus	Bengkak	Tetap
MT+pikloram 20	12/102 (11,76)	50/102 (49,2)	40/102 (39,22)	12/102 (11,76)	50/102 (49,2)	40/102 (39,22)
MT+BA 3	1/33 (3,03)	20/33 (60,61)	12/33 (36,36)	1/33 (3,03)	20/33 (60,61)	12/33 (36,36)
MS+2,4-D20	2/45 (4,44)	25/45 (55,56)	18/45 (40,00)	2/45 (4,44)	25/45 (55,56)	18/45 (40,00)
MS+2,4-D30	0	0	11/11 (100)	0	0	11/11 (100)

Tabel 4. Respon biakan antera jeruk keprok Batu 55 pada sub kultur berulang (sub kultur 4 dan 7) pada media yang sama dengan induksi kalus

Media (mg/l)	Sub kultur ke - 4 (%)			Sub kultur ke - 5 (%)		
	Kalus	Bengkak	Tetap	Kalus	Bengkak	Tetap
MT+pikloram 20	3/24 (12,5)	21/24 (87,5)	0	3/24 (12,5)	21/24 (87,5)	0
MT+pikloram 30	0	4/4 (100)	0	0	4/4 (100)	0
MT+BA 3	0	13/23 (56,5)	10/23 (43,5)	0	13/23 (56,5)	Mencoklat
MS+2,4-D10	0	3/5 (60,0)	2/5 (40,0)	0	3/5 (60,0)	2/5 (40,0)
MS+2,4-D20	0	17/27 (63,0)	10/27 (37,0)	0	17/27 (63,0)	10/27 (37,0)
MS+2,4-D30	0	4/15 (26,7)	11/15 (73,3)	0	4/15 (26,7)	11/15 (73,3)

Produksi kalus diploid dilakukan dengan mensubkultur kalus dan tunas pada media yang sama. Kalus yang dihasilkan dapat tumbuh dan berkembang menjadi kalus-kalus yang embriogenik. Hal ini ditandai dengan adanya pertambahan luas kalus dengan rata-rata 1.25 cm^2 , tipe kalusnya embriogenik berwarna putih dan mempunyai pre-embrio sebanyak 32.50 pre-embrio/kalus (Tabel 5).

Tabel 5. Perbanyakan kalus diploid jeruk keprok pada media MW+EM 500 mg/l+BA 3 mg/l, 4 minggu setelah subkultur.

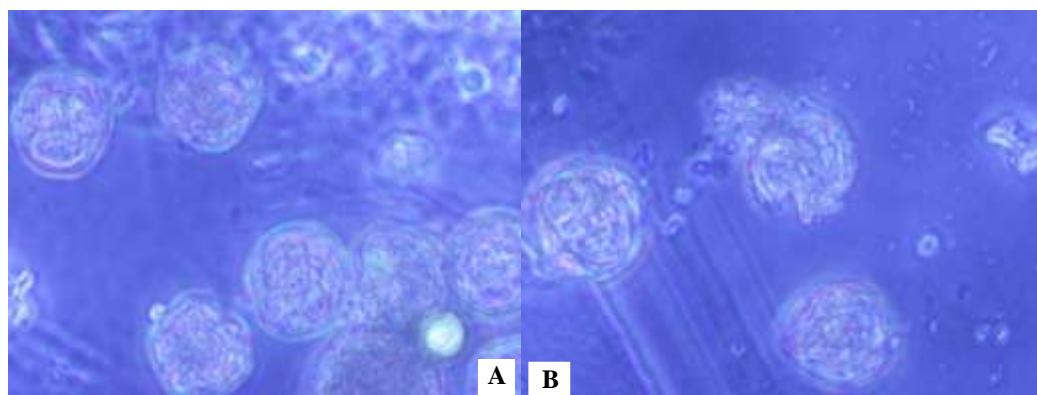
Pertumbuhan kalus	Keterangan
Rata-rata luas kalus	1.25 cm^2
Tipe kalus	Embriogenik berwarna putih
Rata-rata jumlah pre-embrio	32.50 pre-embrio/kalus

Isolasi dan fusi protoplas populasi sel haploid dan diploid jeruk keprok

Isolasi protoplas diploid dilakukan menggunakan kalus jeruk keprok diploid. Protoplas haploid sulit diperoleh dari kalus haploid kartena jumlah dan

kualitas kalusnya rendah (warna kalus agak coklat) sehingga tidak cukup baik digunakan sebagai sumber protoplas. Sumber protoplas haploid dicoba dengan menggunakan mikrospora dari anter bunga keprok yang berukuran petal antara 4-6 mm.

Formulasi enzim yang digunakan untuk isolasi protoplas dari kalus diploid dan anter jeruk keprok garut adalah macerozim 1 dan 1,5% yang dikombinasikan dengan selulase 1 %. Penggunaan kombinasi ini belum dapat mengisolasi protoplas dari populasi sel haploid maupun diploid. Protoplas yang utuh setelah diinkubasi (Gambar 2a.) dalam larutan enzim selama 20 jam pecah ketika diendapkan (Gambar 2b)



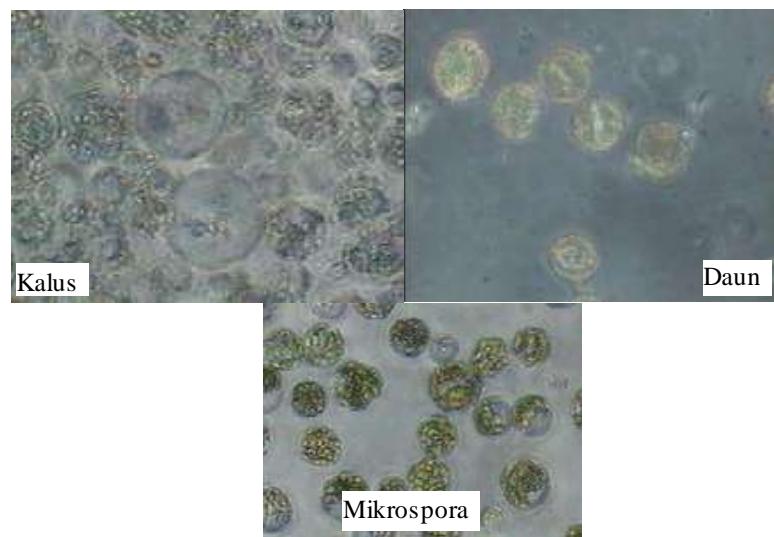
Gambar 2. Protoplas antera pada larutan enzim setelah diinkubasi satu malam (± 16 jam) (A) dan protoplas setelah diendapkan (B).

Isolasi protoplas haploid dan diploid kembali dilakukan setelah mendapatkan kembali kuncup bunga jeruk keprok garut. Formulasi enzim diturunkan menjadi macerozim 0,5% dan selulase 0,5% dengan masa inkubasi enzim 16 jam (*overnight*). Perlakuan yang dicoba adalah perlakuan awal pada kuncup bunga untuk mendapatkan mikrospora, yaitu anter dipotong-potong, anter digerus dan isolasi mikrospora dengan cara pengendapan. Pada kalus diploid tidak dilakukan perlakuan awal tetapi kalus langsung diinkubasi pada formulasi larutan enzim. Dari hasil isolasi protoplas tersebut diperoleh protoplas yang cukup banyak dengan kerapatan 10^5 protoplas/ml (tabel 5).

Tabel 5. Rata-rata jumlah protoplas yang diperoleh dari anter dan kalus diploid jeruk keprok Garut

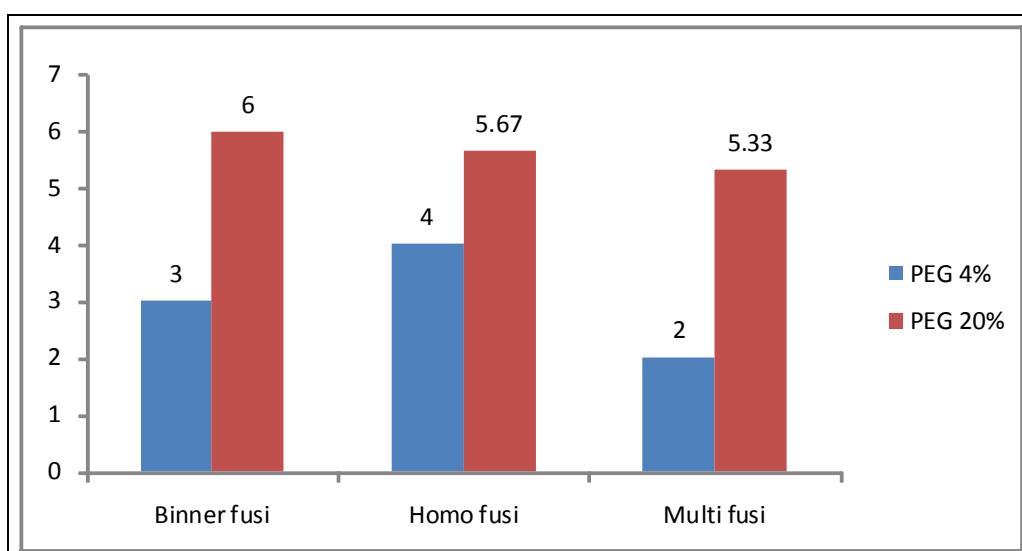
Sumber Protoplas	Rataan Jumlah protoplas	Keterangan
Kalus diploid	$7,6 \times 10^5$	Viabel
Antera dipotong	$1,2 \times 10^5$	Viabel
Antera digerus	$1,7 \times 10^5$	Viabel
Mikrospora	$1,4 \times 10^5$	Viabel
Daun <i>in vitro</i>	$5,2 \times 10^5$	Viabel

Rata-rata jumlah protoplas yang diperoleh berkisar pada kerapatan 10^5 protoplas/ml. Rata-rata jumlah protoplas yang paling banyak berasal dari kalus sebagai sumber protoplas ($7,6 \times 10^5$ protoplas/ml) dan dikuti oleh daun *in vitro* sebanyak $5,2 \times 10^5$ protoplas/ml. Rata-rata jumlah protoplas yang dihasilkan dari mikrospora yang berasal dari perlakuan anter (dipotong dan digerus) juga menghasilkan kerapatan 10^5 protoplas/ml. Protoplas paling banyak dari perlakuan anter berasal dari anter yang di gerus ($1,7 \times 10^5$). Perbedaan kenampakan protoplas hasil isolasi tersaji pada Gambar 3. Perbedaan penampakan protoplas yang dihasilkan antara protoplas yang berasal dari kalus berwarna bening, protoplas yang berasal dari mikrospora berwarna kehijauan, dan protoplas yang berasal dari daun berwarna lebih hijau.



Gambar 3. Protoplas hasil isolasi pada formulasi enzim macerozim dan dari kalus, mikrospora, dan daun.

Berdasarkan hasil fusi protoplas yang dilakukan diperoleh bahwa PEG 20% memberikan jumlah fusan yang lebih banyak dibanding dengan PEG 4% baik yang biner fusi, homo fusi, dan multi fusi (Gambar 4). Tipe biner fusi yang dihasilkan dari PEG 20% adalah sebanyak 6 fusan per bidang pandang, homo fusi 5,67 fusan per bidang pandang, dan multi fusi sebanyak 5,33 fusan per bidang pandang. Sedangkan fusan yang berasal dari *indkusi* dengan PEG 4% adalah 3 fusan per bidang pandang yang biner fusi, 4 fusan per bidang pandang yang homo fusi, dan 2 fusan per bidang pandang yang multi fusi.



Gambar 4. Jumlah protoplas berfusi (fusan) pada perlakuan induksi fusi dengan PEG 4% dan 20%.

Regenerasi sel hibrid

Protoplas hasil fusi yang telah dicuci dengan media pencuci dikulturkan pada media perlakuan. Media yang digunakan adalah MT dan MW dengan penambahan EM 500 mg/l + 2,4-D 0,1 mg/l + BA 3 mg/l. Dari hasil kultur yang dilakukan diperoleh bahwa semakin lama umur kultur maka semakin banyak jumlah protoplas yang melakukan regenerasi dinding sel sehingga diperoleh sel-sel yang lengkap yang berasal dari protoplas baik pada media MT maupun pada media MW (Tabel 6).

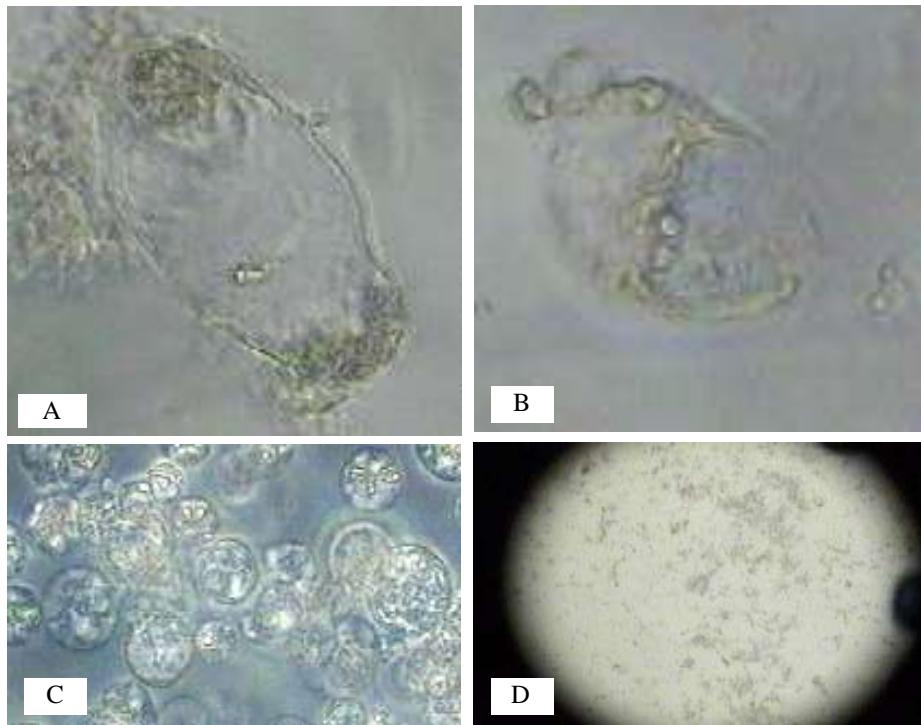
Tabel 6. Regenerasi protoplas hasil fusi (fusan) dengan PEG pada media MT dan MW dengan penambahan EM 500 mg/l + 2,4-D 0,1 mg/l + BA 3 mg/l

Media Kultur	PEG (%)	Respon Protoplas (%)	
		Berdinding	Membelah
		Minggu ke-2	Minggu ke-4
MT+EM 500 mg/l+2,4 D 0,1 mg/l+BA 3 mg/l	4%	0.30 (30%)	0.27 (27%)
	20%	0.30 (30%)	0.30 (30%)
MW+EM 500 mg/l+2,4 D 0,1 mg/l+BA 3 mg/l	4%	0.40 (40%)	0.35 (35%)
	20%	0.18 (18%)	0.07 (7%)

Jumlah dan persentase sel protoplas yang terbentuk pada media MT adalah sebanyak 0.3 protoplas per bidang pandang (30%) baik dari hasil induksi fusi dengan PEG 4% maupun PEG 20%. Sedangkan jumlah dan persentase sel protoplas yang terbentuk pada media MW adalah sebanyak 0.4 protoplas per bidang pandang (40%) dari hasil induksi fusi dengan PEG 4% dan 0.18 protoplas per bidang pandang (18%) dari hasil induksi fusi dengan PEG 20%. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Husni *et al.*, (2009) bahwa jumlah protoplas yang melakukan regenerasi dinding sel yang diinduksi fusi dengan PEG 4% lebih banyak jumlahnya dari pada protoplas yang melakukan regenerasi dari hasil induksi fusi dengan PEG 20%.

Pertumbuhan dan perkembangan protoplas fusan pada media kultur dapat tumbuh dan berkembang melakukan pembelahan sel (mitosis) baik pada media MT maupun pada media MW. Hal ini dapat terlihat dari hasil pengamatan secara mikroskopis terdapat sel-sel baru (sel muda) pada media yang ditandai dengan inti sel yang lebih besar. Sel yang sedang melakukan pembelahan ditandai dengan adanya sel yang memanjang dan mempunyai dua kutub dan selanjutnya terpisah menjadi dua sel. Jumlah protoplas yang melakukan pembelahan pada media MT adalah sebanyak 0,20 regenerasi (20%) dari hasil induksi fusi dengan PEG 4% dan 0.30 regenerasi (30%) dari hasil induksi fusi dengan PEG 20%. Sedangkan pada media MW adalah 0,35 regenerasi (35%) dari hasil induksi fusi dengan PEG 4% dan 0.07 regenerasi (7%) dari hasil induksi fusi dengan PEG 20%. Perbedaan protoplas yang sudah melakukan regenerasi dinding sel dan telah melakukan pembelahan sel tersaji pada Gambar 5.

Pengamatan terhadap kondisi dan perkembangan kultur masih dilakukan sampai dihasilkan mikro kalus sehingga masih diperlukan kelanjutan dari penelitian ini.



Gambar 5. Penampakan protoplas yang sudah melakukan pertumbuhan dan perkembangan (A= protoplas yang sudah berdinding, B= protoplas yang sedang melakukan pembelahan, C= koloni sel, dan D= suspensi sel)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Eksplan kuncup bunga yang berasal dari tanaman yang lebih muda (8 tahun) lebih baik responnya dibandingkan eksplan yang berasal dari tanaman yang lebih tua (>30 tahun)
2. Pra perlakuan dingin lebih dari 3 hari lebih respon membentuk kalus dari pada praperlakuan kurang dari 3 hari
3. Formulasi enzim terbaik untuk mengisolasi protoplas diploid (kalus dan daun *in vitro*) dan protoplas haloid (polen) adalah macerozim 0,5% dan selulase 0,5% dengan masa inkubasi enzim 16 jam (*overnight*)

4. Konsntrasi PEG 20% memberikan jumlah fusan yang lebih banyak dibanding dengan PEG 4% baik yang biner fusi, homo fusi, dan multi fusi
5. Regenerasi pembentukan dinding sel fusan, pembelahan sel, dan pembentukan suspensi sel terbaik diperoleh dari formulasi media MW+EM 500 mg/l+2.4 D 0.1 mg/l+BA 3 mg/l

DAFTAR PUSTAKA

- Bachi, O. 1940. Observation Citological Citrus, I. Numero de cromosomas de algunas especies y variedades. Journal of Agronomi (Piracicaba) 3: 249-258
- Esen, A and R K Soost. 1972. Tetraploid progenies from $2x \times 4x$ crosses of Citrus and their origin. Journal of American Society of Horticultural Sciences. 97:410-414
- Falavigna, A. and G.L. Rotino. 2005. Parthenocarpy, a strategy for fruit development under adverse environmental conditions. Makalah dalam Seminar Peranan Bioteknologi dalam perbaikan tanaman untuk cekaman abiotik. Bogor. 9 h.
- Germana, M A. 2003. Haploids and double haploids in Citrus ssp. Pp. 303-308. In M Maluszynski, K J Kasha, B P Forster and I Szarejko (Eds.). DoubleHaploid Production in Crop Plants A manual. Kluwer Academic Publishers
- Gmitter, F G and X Ling. 1991. Embryogenesis in vitro and nonchimeric tetraploid plant recovery from undeveloped citrus ovules treated with colchicines. J. Amer.Soc. Hort.Sci. 116: 317-321
- Gmitter, F G Jr., X B Lingand X X Deng. 1990. Induction of triploid citrus plants from endosperm calli *in vitro*. Theor. Appl. Genet. 80: 785-790
- Husni, A., I. Mariska dan Hobir. 2004. Fusi Protoplas dan regenerasi protoplas hasil fusi antara *Solanum melongena* dengan *S. torvum*. Jurnal Bioteknologi Pertanian 9(1):1-8.
- Hutabarat, B dan A. Setyanto. 2007. Komoditas jeruk Indonesia dipersimpang jalan pasar domestik dan internacional. Pusat Analisis Social Ekonomi dan Kebijakan Pertanian (PSE-KP), Departemen Pertanian. Makalah dalam Seminar Nasional Jeruk 2007, Yogyakarta, 13-14 juni 2007. 30 h.
- Jaskani, M J. 1998. Interploidal hybridization and regeneration of Kinnow mandarin. Ph.D Thesis. Dept. of Hort., Univ. Agric., Faisalabad, Pakistan.

- Koltunow, A M, A Vivian-Smith and S R Sykes. 2007. Molecular and conventional breeding strategies for seedless citrus. ISHS Acta Horticulturae 535: First International Citrus Biotechnology Symposium
- Lapin, W.K. 1937. Investigation of polyploidy in citrus work. All-Unian Sci. Res. Inst. Humid Subtrop. I:1-68.
- Mooney, P, M Atson and A Harty. 1997. Developing New Seedless Citrus Triploid Cultivars. HortResearch Publication. The Horticulture and Food Institute of New Zealand Ltd.
- Usman, M, T Safed, M M Khan dan B Fatima. 2006. Occurrence of Spontaneous Polyploids in Citrus. Hort. Sci. (Prague) 33 (3): 124-129
- Zhang, J, M Zhang and X Deng. 2007. Obtaining autotetraploids in vitro at a high frequency in Citrus sinensis. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 89(2-3): 211-216

**TEKNOLOGI TRANSPLANTASI SEL TESTIKULAR DALAM
REKAYASA PRODUKSI BENIH IKAN GURAME**
(Osphronemus gouramy)

(Testicular Cells Transplantation Technology in Manipulation of
Giant Gouramy (*Osphronemus gouramy*) Fry Production)

Alimuddin¹⁾, Muhammad Zairin Jr., Harton Arfah¹⁾

¹⁾Dep. Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB.

ABSTRAK

Teknologi transplantasi sel testikular yang mengandung sel punca/stem dikembangkan dengan tujuan akhir menghasilkan induk semang yang dapat memproduksi benih ikan gurame dalam waktu lebih cepat dan pemijahannya dapat dikontrol dalam wadah terbatas sehingga produksi benihnya menjadi lebih efisien. Sebagai tahap awal, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui metode disosiasi dan kemampuan ikan nila sebagai resipien untuk transplantasi sel testikular ikan gurame. Pada penelitian ini juga dilakukan pengembangan marka molekular berupa gen hormon pertumbuhan (*growth hormone*, GH) dan *vasa* untuk membedakan sel dari ikan gurame dan ikan nila menggunakan metode PCR dengan cetakan berupa DNA, dan kloning serta analisis ekspresi gen *vasa* dari ikan gurame (GgVLG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa disosiasi sel testikular ikan gurame dapat dilakukan menggunakan trypsin 0,5% dengan lama inkubasi sebaiknya tidak lebih dari 2 jam pada suhu ruang. Analisis kolonisasi sel donor menunjukkan bahwa larva ikan nila hingga umur 5 hari kompeten sebagai resipien untuk transplantasi sel testikular ikan gurame. Selanjutnya, hasil penelitian pengembangan marka molekular menunjukkan bahwa marka GH (1 ng/μL) lebih sensitif dibandingkan dengan *vasa* (50 ng/μL) dalam mendeteksi DNA ikan gurame pada saat tercampur dengan DNA ikan nila. Penelitian kloning menunjukkan bahwa panjang total cDNA GgVLG adalah 2340 bp, dan mengkodekan 653 asam amino residu dengan sekuen yang konserf bagi *vasa*. Analisis ekspresi menggunakan metode RT-PCR menunjukkan bahwa GgVLG spesifik diekspresikan pada testis dan ovarii.

Kata kunci : Sel testikular; transplantasi; *vasa*; ikan gurame; ikan nila

ABSTRACT

Development of transplantation technology using testicular germ cells (TGC) is finally aimed to produce surrogate broodstock which is able to generate giant gouramy fry in shorter time and its spawning could be controlled in limited space so that the fry production to be more efficiently. As the first step, this study was performed to determine dissociation method and the competence of Nile tilapia as recipient for transplantation of giant gouramy TGC. Development of molecular marker with growth hormone (GH) and *vasa* genes to distinguish cells from giant gouramy and Nile tilapia using PCR method with DNA template, cloning and expression analysis of *vasa* cDNA from giant gouramy (GgVLG) were also carried out. The results showed that dissociation of giant gouramy testicular cells could be performed using 0.5% trypsin and incubation time should be less than 2 hours at room temperature. Analysis of donor cells colonization showed that Nile tilapia larvae until 5-day-old was competent as a recipient for giant gouramy TGC transplantation. Further, the results of molecular marker study showed that GH marker (1 ng/μl) was more sensitive than *vasa* (50 ng/μl) to detect genomic DNA of giant gouramy when mixed with Nile tilapia genomic DNA. Cloning study showed that the total length of GgVLG cDNA was 2,340 bp, and encoding 653 amino acid residues with conserved sequences for *vasa*. Expression analysis using RT-PCR method showed that GgVLG was specifically expressed in testes and ovary.

Keywords : Testicular cells; transplantation; *vasa*; giant gouramy; Nile tilapia

PENDAHULUAN

Teknologi transplantasi sel germinal pertama kali pada ikan trout pelangi (*Oncorhynchus mykiss*) menggunakan sel bakal telur dan sperma yang disebut PGC (*Primordial Germ Cells*) sebagai sel donor (Takeuchi *et al.*, 2004). Tujuan utama penelitian transplantasi sel germinal yang dilakukan oleh peneliti Jepang adalah untuk mengatasi masalah penanganan induk ikan tuna untuk produksi benihnya. Induk ikan tuna berukuran relatif besar, bisa mencapai ratusan kilogram, sehingga membutuhkan wadah pemeliharaan atau ruang yang sangat besar, serta membutuhkan banyak uang dan tenaga. Bila sel germinal ikan tuna dapat berkembang pada gonad ikan laut lainnya yang bisa matang gonad dalam waktu relatif cepat dan ukuran tubuhnya relatif kecil, maka masalah penyediaan induk dan penanganan pemijahan ikan tuna dapat di atasi.

Dengan pertimbangan jumlah sel PGC terbatas (20-30 sel/embrio ikan trout pelangi), maka pengembangan teknologi transplantasi selanjutnya menggunakan sel testikular yang mengandung sel punca/stem spermatogonia (Okutsu *et al.*, 2006). Pada trout pelangi, dari 10.000 sel germinal per embrio yang ditransplantasikan, rata-rata jumlah sel donor yang terinkorporasi ke dalam testis resipien adalah 4,6 sel, menghasilkan sperma rata-rata 20×10^7 sel per individu resipien (Okutsu *et al.*, 2006). Jumlah ikan hasil transplantasi yang membawa sel donor adalah 24 ekor ikan jantan dan 40 ekor ikan betina. Terdapat 6 ekor ikan jantan dan 3 ekor ikan betina resipien yang menghasilkan keturunan 100-1.700 ekor ikan yang berkembang dari sel donor (Okutsu *et al.*, 2006). Hal tersebut menunjukkan bahwa sel testikular mengandung sel punca dengan karakteristik seperti sel PGC yang bisa berdiferensiasi menjadi sperma dan telur.

Ikan gurame (*Osphronemus goramy*) merupakan salah satu ikan budidaya yang memiliki harga relatif mahal di Indonesia. Waktu yang diperlukan untuk mencapai matang gonad cukup lama, sekitar 3-4 tahun, sehingga jarang pemberian ikan yang mau memproduksi induk ikan gurame. Akibatnya adalah produksi benih tidak dapat ditingkatkan secara signifikan untuk mendukung program revitalisasi perikanan budidaya ikan gurame. Aplikasi teknologi transplantasi sel testikular ikan gurame pada resipien yang kompeten dan lebih cepat matang gonad diduga dapat mendukung pengembangan budidaya ikan gurame di masa depan.

Berbagai tahapan awal dalam rangka pengembangan teknologi transplantasi sel testikular ikan gurame dilakukan pada penelitian ini, meliputi pengembangan metode disosiasi sel donor, identifikasi kandidat resipien yang kompeten, pengembangan marka molekular untuk identifikasi sel donor, kloning dan analisis ekspresi gen vasa ikan gurame (*GgVLG*). Target akhir dari penelitian transplantasi sel testikular ini adalah menghasilkan induk ikan “semang” (*surrogate broodstock*) yang dapat memproduksi benih ikan gurame dalam waktu lebih cepat; kurang dari 1 tahun, dibandingkan bila menggunakan induk ikan gurame normal (3-4 tahun), dan jumlah benih yang dihasilkan per pemijahan relatif sama dengan produksi benih ikan gurame normal.

METODE PENELITIAN

Disosiasi sel testikular ikan gurame

Testis diambil dari ikan gurame ukuran 800-100 gram/ekor dengan gambaran histologi testis seperti pada Gambar 1A. Testis dipotong menjadi beberapa bagian dengan berat yang relatif sama. Bahan disosiasi yang diuji adalah larutan tripsin 0,5% dalam PBS (trip/PBS) dan larutan tripsin 0,5% dalam PBS dengan penambahan FBS 5% dan DNase-I 15 unit/ml (trip/PBS/FBS/DNase). Lama inkubasi/disosiasi yang diuji adalah 60, 120, 180, 240 dan 300 menit, pada suhu ruang (sekitar 25°C). Identifikasi sel-sel yang hidup dilakukan menggunakan pewarna *trypan blue* (Gambar 1B).

Transplantasi sel testikular ikan gurame

Sel testikular hasil disosiasi diberi label berupa PKH26 (Sigma) yang menyebabkan sel berpendar merah bila terpapar sinar ultraviolet, untuk membedakan sel donor dengan sel resipien secara visual menggunakan mikroskop fluoresens. Sekitar 20.000 sel testikular dalam larutan PBS diinjeksikan ke rongga perut antara kuning telur dan tulang vertebrata menggunakan mikroinjektor (Gambar 1C). Pada penelitian ini, untuk mengetahui umur resipien optimal, transplantasi sel testikular dilakukan pada larva ikan nila umur 1, 3, 5 dan 7 hari setelah menetas. Larva ikan nila diperoleh dari hasil pemijahan secara terkontrol di dalam akuarium, sehingga umurnya diketahui dengan baik.

Ikan hasil transplantasi dipelihara dalam akuarium yang dilengkapi dengan sistem aerasi. Setelah ikan nila tersebut mencapai ukuran sekitar 5 cm, gonadnya diambil dan diamati di bawah mikroskop fluoresens. Jumlah inkorporasi sel donor dihitung di bawah mikroskop fluoresens dengan mengamati pendaran PKH26 di gonad ikan resipien (Gambar 2). Bila terdapat sel yang berpendar merah dalam gonad ikan resipien, maka dapat dikatakan bahwa sel donor berhasil terinkorporasi. Banyaknya ikan nila yang mengandung sel donor dan jumlah sel donor terinkorporasi dalam individu resipien menjadi indikator umur optimal resipien dalam transplantasi.

Pengembangan metode PCR untuk identifikasi kolonisasi sel donor

Penggunaan metode PCR dalam identifikasi dan kolonisasi sel donor dalam gonad resipien telah dilaporkan oleh Okutsu *et al.* (2008). Pada penelitian ini dilakukan pengembangan metode PCR dengan primer spesifik untuk mendekripsi DNA ikan gurame yang dicampur dengan DNA ikan nila dengan rasio berbeda untuk mengetahui sensitivitas PCR. Sekuens primer spesifik GH dan vasa didisain dengan menyejajarkan sekuen gen GH dan *vasa* ikan gurame dan ikan nila menggunakan program GENETYX versi 7. Gen β -aktin digunakan sebagai kontrol internal loading DNA.

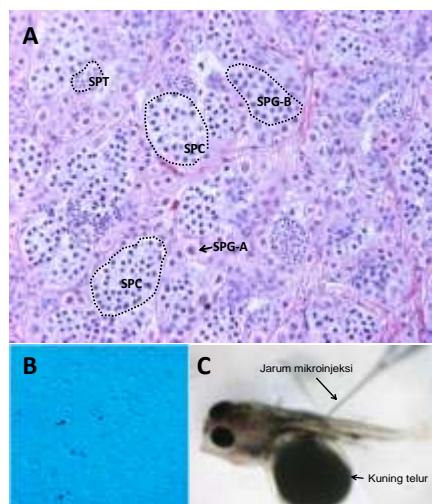
Kloning dan analisis ekspresi gen *vasa* ikan gurame

Total RNA diekstraksi menggunakan Isogen. cDNA disintesa menggunakan kit Ready-to-go First Strand cDNA synthesis. Produk PCR diligasi ke vektor kloning pGEM-T Easy, ditransformasi ke sel kompeten *Escherichia coli* DH5 α , dikultur dan plasmid diisolasi. Analisis sekuen dilakukan menggunakan mesin ABI Prism 3100 dengan sistem BigDye. Analisis ekspresi gen *vasa* pada testis, ovari dan berbagai jaringan somatik dilakukan menggunakan metode RT-PCR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Disosiasi sel testikular ikan gurame

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah sel yang diperoleh relatif sama, kecuali dengan menggunakan Tryp-PBS/FBS/DNase dengan lama inkubasi 5 jam menghasilkan sel relatif lebih banyak dibandingkan perlakuan lainnya (Tabel 1). Selanjutnya viabilitas sel menurun dengan meningkatnya lama inkubasi, baik menggunakan Trip/PBS maupun dengan Trip/PBS/FBS/DNase. Dengan demikian kedua tersebut dapat dipakai untuk disosiasi sel testikular ikan gurame, dan mungkin juga untuk spesies ikan air tawar lainnya. Lama inkubasi untuk disosiasi sel testikular ikan gurame yang diinkubasi pada suhu ruang sebaiknya tidak lebih dari 2 jam (Tabel 1).



Gambar 1. (A) Histologi testis ikan gurame (berat tubuh sekitar 1 kg) dengan pewarnaan HE. Spermatogonia tipe A (SPG-A) dan tipe B (SPG-B), spermatosit (SPC), dan spermatif (SPT). (B) Sel testikular ikan gurame hasil disosiasi, tanda panah garis penuh merupakan contoh sel yang *viable*, sementara tanda panah garis putus menunjukkan sel yang sudah mati. C. Posisi jarum mikroinjeksi saat transplantasi sel testikular ikan gurame ke rongga perut larva ikan nila.

Hasil penelitian ini relatif sama dengan yang digunakan pada ikan trout pelangi (Okutsu *et al.*, 2006). Disosiasi testikular pada ikan trout pelangi menggunakan tripsin 0,5% dalam PBS yang mengandung 5% FBS 5% dan 1 mM Ca^{2+} selama 2 jam inkubasi pada suhu 20°C. Baru-baru ini metode disosiasi

testikular ikan nibe (*Nibea mitsukurii*) juga telah dilaporkan oleh Takeuchi *et al.* (2009). Disosiasi testikular ikan nibe menggunakan tripsin dengan dosis lebih rendah; 0,25% tripsin dalam medium L-15 yang mengandung FBS 5% dan DNase-I 0,05%, dengan lama inkubasi 3 jam pada suhu 25°C.

Tabel 1. Jumlah dan viabilitas sel hasil disosiasi menggunakan 2 bahan disosiasi dan lama waktu inkubasi berbeda.

Jenis larutan disosiasi	Lama waktu inkubasi (menit)	Jumlah sel		Viabilitas sel (%)		
Trip/PBS	60	515.555	±	134.219	100,00	± 0,00
	120	662.222	±	174.016	96,77	± 3,23
	180	573.334	±	300.222	91,87	± 8,66
	240	577.778	±	84.678	93,70	± 2,07
	300	680.000	±	18.856	90,79	± 1,86
Trip/PBS/ FBS/DNase	60	302.222	±	131.543	100,00	± 0,00
	120	484.445	±	180.041	98,24	± 3,04
	180	568.889	±	250.274	94,95	± 5,28
	240	471.111	±	116.492	95,29	± 5,74
	300	1.520.000	±	207.846	87,84	± 1,74

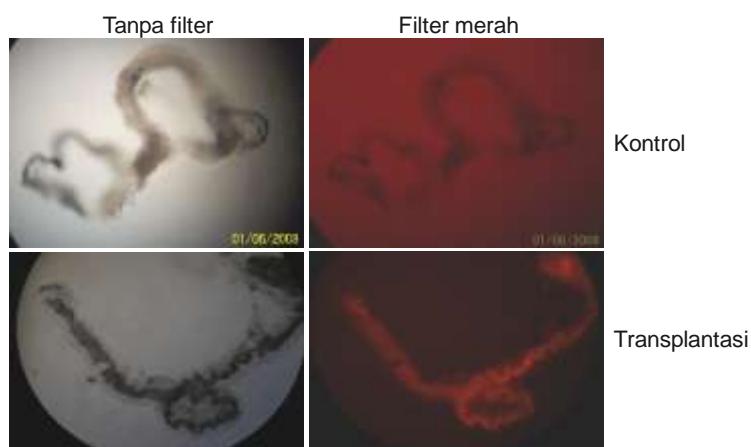
Transplantasi sel testikular ikan gurame

Hasil penelitian transplantasi sel menunjukkan bahwa secara umum kelangsungan hidup ikan nila hasil transplantasi tidak berbeda antara ikan yang ditransplantasi dengan sel hasil disosiasi menggunakan Trip/PBS (60,0-71,4%) dan Trip/PBS/FBS/DNase (46,7-75,0%), serta dengan kontrol (65,0-100,0%). Selanjutnya perbedaan umur resipien juga tidak mempengaruhi kelangsungan hidup larva yang ditransplantasi. Dengan demikian, dari segi kelangsungan hidup ikan resipien, kedua jenis bahan disosiasi tersebut dapat digunakan dalam penyediaan sel testikular ikan gurame, dan larva ikan nila umur 1-5 hari dapat digunakan dalam transplantasi. Analisis inkorporasi sel donor yang menggunakan resipien umur 7 hari belum bisa dilakukan, ukuran ikan masih relatif kecil dan gonad belum jelas kelihatannya.

Sel hasil disosiasi menggunakan kedua larutan disosiasi uji mampu terkolonisasikan dalam gonad ikan nila. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2 (bawah) gonad dari ikan nila hasil transplantasi, sekitar 2 bulan setelah transplantasi menunjukkan ada sel berwarna merah pada gonad resipien (Gambar 2, bawah). Sementara itu, gonad ikan nila yang bukan berasal dari hasil transplantasi tidak

kelihatan berpendar merah walau menggunakan filter merah (Gambar 2, atas). Dari sekitar 20.000 sel testikular ikan gurame yang ditransplantasikan, jumlah sel yang terkolonisasi adalah sebanyak 6 sel sampai hampir semua gonad ikan nila resipien penuh dengan sel donor (Gambar 2, bawah).

Dari analisis gonad ikan nila resipien, dapat disimpulkan bahwa sel testikular ikan gurame dapat terkolonisasikan pada gonad ikan nila. Penelitian selanjutnya adalah untuk mengetahui umur larva ikan nila sebagai resipien yang optimal untuk mengontrol migrasi sel donor ke *genital ridge* sehingga diperoleh persentase koloniasi yang tinggi pada semua ikan nila. Selanjutnya, sebagian besar ikan nila hasil transplantasi masih berukuran kecil sehingga perlu dipelihara lebih lama, 4-6 bulan, untuk mengetahui apakah sel donor dapat terdiferensiasi dan proliferasi dalam gonad ikan nila resipien.



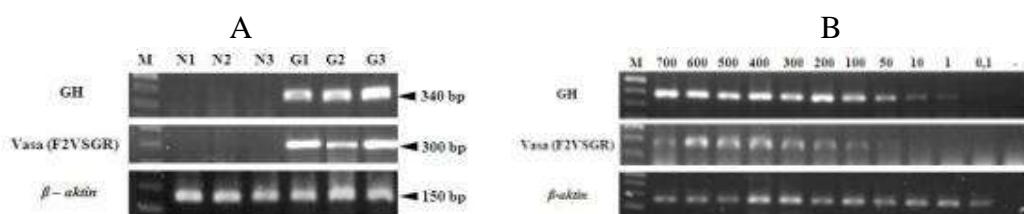
Gambar 2. Gonad ikan nila kontrol tanpa transplantasi (foto atas) dan hasil transplantasi (foto bawah).

Selain itu, beberapa ekor ikan nila betina hasil transplantasi telah matang gonad, saat ini sedang dipijahkan/dikawinkan untuk mengetahui apakah ada yang menghasilkan telur ikan gurame. Secara visual telur ikan gurame dan ikan nila mudah dibedakan; telur ikan gurame berbentuk bulat dan mengapung, sedangkan telur ikan nila berbentuk lonjong dan tenggelam di dasar wadah. Untuk ikan nila jantan hasil transplantasi, produksi spermanya masih relatif sedikit. Ikan akan dipelihara lebih lanjut hingga produksi sperma cukup banyak untuk mendeteksi adanya sperma ikan gurame dalam testis ikan nila tersebut. DNA akan diekstraksi

dari sperma dan selanjutnya digunakan dalam proses amplifikasi PCR untuk mendeteksi adanya sperma ikan gurame dalam testis resipien.

Pengembangan metode PCR untuk identifikasi kolonisasi sel donor

Spesitivitas primer GH dan *vasa* pertama ditunjukkan dengan pita produk PCR yang jelas dan konsisten (Gambar 3A), dengan panjang produk masing-masing adalah 340 dan 300 bp. Produk PCR hanya diperoleh dengan menggunakan cetakan DNA ikan gurame. Hal ini mengindikasikan bahwa primer GH dan *vasa* bersifat spesifik dan dapat dijadikan sebagai marka molekuler untuk mengidentifikasi sel gonad ikan gurame. Sebagai kontrol internal, amplifikasi PCR dengan primer β -aktin menggunakan cetakan DNA gurame dan nila adalah menghasilkan pita DNA (Gambar 3A).



Gambar 3. (A) Eletroforegram produk PCR untuk uji spesivitas primer GH, *vasa*, dan β -aktin sebagai kontrol internal. (B) Uji sensitivitas marka molekuler GH dan *vasa*. M = marker panjang fragmen DNA (2-log ladder); N1-N3=sampel DNA ikan nila; G1-G4 = sampel DNA ikan gurame; angka 700 s/d 0,1= rasio DNA gurame dan nila; tanda minus= produk PCR tanpa cetakan DNA.

Selanjutnya, hasil pengujian sensitivitas PCR dalam membedakan DNA gurame dan nila ditunjukkan pada Gambar 3B. Konsentrasi terendah DNA ikan gurame yang dideteksi menggunakan marka molekuler spesifik GH dan *vasa* masing-masing adalah 1 dan 50 ng/ μ L (Gambar 3B) di dalam 700 ng/ μ L DNA ikan nila. Dengan kata lain, marka molekuler GH mampu mendeteksi DNA gurame pada rasio 1:700, sedangkan marka molekuler *vasa* hanya mampu mendeteksi pada rasio 1:14. Hasil ini menunjukkan bahwa GH lebih sensitif dibanding *vasa* dalam mendeteksi ikan gurame pada saat tercampur dengan DNA ikan nila. Sensitivitas PCR pada penelitian ini (1 ng/ μ L) sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan yang dilaporkan oleh Karanis *et al.* (2007), yaitu 4 ng/ μ L pada pendekslan oosit *Cryptosporidium*.

Marka molekuler yang digunakan dalam penelitian ini bisa membedakan sel germinal ikan gurame dan ikan nila. Metode marka molekuler ini juga telah dibuktikan mampu membedakan sel germinal *immature* dan spermatozoa donor pada ikan Japanese charr resipien (Okutsu *et al.* 2008). Dengan demikian, diduga bahwa marka molekuler yang dikembangkan dalam penelitian ini juga bisa mendeteksi sel gonad mulai dari spermatogonia sampai tahap spermatozoa ikan donor ikan gurame.

Kloning dan analisis ekspresi gen *vasa* ikan gurame

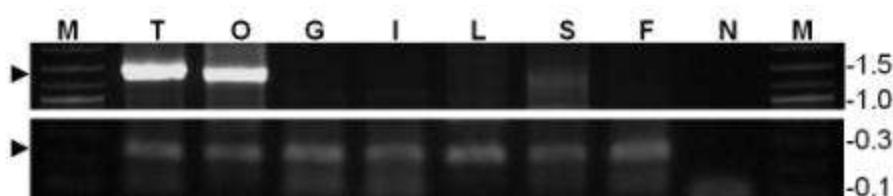
Sekuens gen *vasa* ikan gurame (GgVLG) hasil kloning sudah dimasukkan ke Bank Gen dengan nomor akses GQ422440. Total panjang cDNA GgVLG adalah 2.340 bp dan kodon awal ATG terletak pada nukleotida 100, serta kodon akhir TAG pada posisi 2061. Gen GgVLG ikan gurame mengkodekan 653 asam amino residu. Sekuens asam amino residu GgVLG memiliki kesamaan 85,9% dengan *vasa* ikan mas (Bank Gen No.: AF479820), dan 90,7% dengan *vasa* ikan nila (Kobayashi *et al.*, 2000). Sekuen asam amino residu hasil kloning juga mengandung 8 sekuens konsensus protein DEAD (Gambar 4, diberi tanda kotak) (Linder *et al.*, 1989), yaitu motif ATP-A (AXXXXGKT) dan motif ATP-B (DEAD) (Pause & Sonenberg, 1992). Selanjutnya, sekuen hasil kloning juga mengandung 17 pengulangan arginin-glisin (Gambar 9, satu garis bawah) dan 8 arginin-glisin-glisin (Gambar 4, dua garis bawah), yang biasa ditemukan pada gen *vasa* (Raz, 2000). Daerah sekuens kaya glisin dengan beberapa motif dipercaya sebagai ciri *single-stranded nucleic acid binding proteins*, seperti RNA helicase (Liang *et al.*, 1994), dan hal ini memperkuat dugaan bahwa cDNA hasil kloning pada penelitian ini mengkodekan protein DEAD yang memiliki kemampuan ATP-dependent RNA helicase.

Analisis RT-PCR menunjukkan bahwa *vasa* terekspresi tinggi pada gonad jantan dan betina, sementara pada jaringan lainnya tidak ditemukan ekspresi (Gambar 5). Berdasarkan analisis sekuen nukleotida dan pola ekspresi mRNA dapat disimpulkan bahwa cDNA hasil kloning merupakan gen *vasa* ikan gurame, dan disebut sebagai gen *vasa-like* ikan gurame (GgVLG). Dalam pengembangan teknologi transplantasi sel testikular ikan gurame, gen *vasa* sangat berguna untuk

kuantifikasi sel spermatogonia, baik pada saat penyiapan sel donor maupun dalam pendeksiian inkorporasi sel donor pada individu resipien. Seperti dijelaskan dalam penelitian pengembangan marka molekuler, *vasa* juga dapat digunakan untuk kuantifikasi sel donor dalam individu resipien.

MDEWEEEETTTISTIALTSQSTNEGTQGDFWKPDSGESGRGRGGGGRGRGGFKSSFSSG	60
GEERRDDGNNWNSTAAR <u>ERGGFR</u> <u>RGGR</u> <u>GRGR</u> <u>GFRMDQSE</u> FNGDDSGV <u>CESGFR</u> <u>RGGSRGG</u>	120
<u>RGS</u> <u>RGRGG</u> <u>FREAGDQGG</u> <u>RGGYGGY</u> <u>RKGDEE</u> I <u>FAQGENKDPGKKDAIDGDRPKV</u> T <u>VPP</u>	180
LPEDEDSI <u>FAHYKTG</u> <u>INF</u> <u>DKYDDIM</u> <u>VDSGTNPPQAI</u> <u>LT</u> <u>FDEAALCETLRKNVSKSGYVK</u>	240
PTPVQKHGIPPIISAGRDLMA <u>AQTGSGKTA</u> <u>AFLLPI</u> <u>LQQLMADGVAASRFSELQEPEALI</u>	300
<u>ATP-A</u> VA <u>P</u> <u>TREL</u> <u>I</u> <u>NQIYLE</u> <u>EAR</u> <u>KFSFGTCVRPVVVY</u> <u>GG</u> <u>STAHQIREISRGCNVL</u> <u>CG</u> <u>TPGR</u> <u>LLDVI</u>	360
GRGKVGLSKLRYLV <u>DEAD</u> <u>RMLDMGFEPDMRR</u> <u>LVGS</u> <u>PGMP</u> <u>SKENRQTLMF</u> <u>SAT</u> <u>YPEDIQR</u>	420
<u>ATP-B</u> MAADFLKTDYLFLAVGVVGACSDVEQT <u>FVQVT</u> <u>FSKREQL</u> <u>LDLLKTTGTER</u> <u>TMVFETK</u>	480
RQADFIATFLCQE <u>KVPTTS</u> <u>IHGDR</u> <u>REQREREQ</u> <u>ALADFRSGKCPV</u> <u>LVATSV</u> <u>A</u> <u>RGLD</u> <u>IPDVQ</u>	540
HVVNF <u>DLP</u> <u>SNIDEYV</u> <u>HRIGRT</u> <u>GR</u> <u>CGNTGRAV</u> <u>SFYDPEADGH</u> <u>LARS</u> <u>LGV</u> <u>VLSKAQQEVPSW</u>	600
LEEA <u>AFSGPS</u> <u>STGFNPPRN</u> <u>FASTDTRQRGL</u> <u>LQDT</u> <u>SVMSPQAQPAADEEEWE*</u>	660

Gambar 4. Dduced amino acid sequences of a cloned giant gouramy cDNA encoding a *vasa*-like gene. Amino acid residue numbers are shown on the right. Arginine-glycine repeats and arginine-glycine-glycine repeats in the N-terminal region are underlined and double underlined, respectively. Eight consensus sequences for the DEAD protein family, including an adenosine triphosphate (ATP)-A motif and an ATP-B motif are boxed. These sequence data are available from GenBank (accession no. GQ422440).



Gambar 5. RT-PCR analysis of various tissues using *vasa*-specific primers. cDNAs from various tissues (testis, ovary, gill, intestine, liver, muscle, fin) were used for RT-PCR. β -actin was used as an internal control for RT-PCR amplification. Lane NC was a negative control containing no cDNA template. M represents molecular weight marker (2-log ladder DNA marker, BioLabs, Inc., New England).

KESIMPULAN

1. Disosiasi sel testikular ikan gurame dapat dilakukan menggunakan tripsin 0,5% dengan lama inkubasi tidak lebih dari 2 jam.

2. Ikan nila kompeten sebagai resipien dalam transplantasi sel testikular ikan gurame.
3. Larva ikan nila sampai umur 5 hari mampu mendukung kolonisasi spermatogonia ikan gurame.
4. Gen GH dan *vasa* dapat digunakan sebagai marka molekuler pembeda sel donor dari ikan gurame dalam individu ikan nila sebagai resipien.
5. cDNA *vasa* dari ikan gurame dengan panjang sekuens 2.340 bp, berhasil diisolasi dan dikarakterisasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh DIPA IPB No. 50/I3.24.4/SPK/BG-PSN/2009. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Goro Yoshizaki (Tokyo University of Marine Science and Technology, Japan) atas bantuannya dalam penelitian kloning dan analisis ekspresi gen *vasa* ikan gurame. Terima kasih juga disampaikan kepada Ir. Irma Andriyani, MSi. atas bantuannya dalam pelaksanaan transplantasi, dan Marlina Achmad, SPi., MSi dalam penelitian pengembangan marka molekular.

DAFTAR PUSTAKA

- Karanis P, Thekisoe O, Kiouptsi K, Ongerth J, Igarashi I, and Inoue N. 2007. Development and preliminary evaluation of a loop-mediated isothermal amplification procedure for sensitive detection of *Cryptosporidium* oocysts in fecal and water samples. *Applied and Environmental Microbiology* 73: 5660–5662.
- Kobayashi T, Kajiura-Kobayashi H, and Nagahama Y. 2000. Differential expression of *vasa* homologue gene in the germ cells during oogenesis and spermatogenesis in a teleost fish, tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Mech Dev* 99:139–142.
- Liang L, Diehl-Jones W, and Lasko P. 1994. Localization of *vasa* protein to the *Drosophila* pole plasm is independent of its RNA binding and helicase activities. *Development* 120:1201–1211
- Linder P, Lasko PF, Ashburner M, Leroy P, Nielsen PJ, Nishi K, Schnier J, and Slonimski PP. 1989. Birth of the D-E-A-D box. *Nature* 337:121–122.

- Okutsu T, Suzuki K, Takeuchi Y, Tekeuchi T, and Yoshizaki G. 2006. Testicular germ cells can colonize sexually undifferentiated embryonic gonad and produce functional egg in fish. Proc Natl Acad Sci USA 103:2725-2729.
- Okutsu T, Takeuchi Y, and Yoshizaki G. 2008. Spermatogonial transplantation in fish: production of trout offspring from salmon parents. In: Fisheries for global Welfare and environment, 5th World Fisheries Congress. Tsukamoto K, Kawamura T, Takeuchi T, Beard TD, Kaiser MD.(Eds.), Terrapub, p209-219.
- Pause A, and Sonenberg N. 1992. Mutational analysis of a DEAD box RNA helicase: the mammalian translation initiation factor eIF-4A. EMBO J 11:2643-2654
- Raz E. 2000. The function and regulation of vasa-like genes in germ-cell development. Genome biology 1: reviews 1017.1-1017.6.
- Takeuchi Y, Yoshizaki G, and Takeuchi T. 2004. Surrogate broodstock produces salmonids. Nature 430: 629-630.
- Takeuchi Y, Higuchi K, Yatabe T, Miwa M and Yoshizaki G. 2009. Development of spermatogonial cell transplantation in Nibe croaker, *Nibea mitsukurii* (Perciformes, Sciaenidae). Biology of Reproduction, 81:1055-1063.

**DESAIN PROSES DEHIDRASI BIOETANOL MENGGUNAKAN
ZEOLIT MOLECULAR SIEVE DENGAN TEKNIK
VACUUM SWING ADSORPTION**

(Process Design of Bioethanol Dehydration Using Zeolite Molecular Sieve By Vacuum Swing Adsorption Technique)

**Ade Iskandar¹⁾, Dedi Wahyudi²⁾, Dwi Setyaningsih¹⁾,
Muhammad Arif Yudiarso³⁾**

¹⁾Dep. Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB,

ABSTRAK

Bioetanol dihasilkan dengan cara fermentasi glukosa dengan mikroorganisme dan diikuti dengan distilasi. Proses distilasi dapat menghasilkan etanol teknis dengan konsentrasi $\leq 95\text{-v}$. Untuk mendapatkan Etanol derajat bahan bakar (konsentrasi $\geq 99,5\text{-v}$) diperlukan proses dehidrasi. Sudah banyak dikembangkan teknik dehidrasi bioetanol, namun masih belum efektif dan efisien. Oleh karena itu, desain proses dibutuhkan untuk meningkatkan sistem operasi yang lebih ramah pengguna dan produktif. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh desain proses dehidrasi bioetanol dengan teknik "Vacuum Swing Adsorption" (VSA) yang dapat menghasilkan etanol derajat bahan bakar (FGE) dan untuk mengatur kondisi optimum proses dehidrasi. Jenis Penyaring Molekuler Zeolit (ZMS) yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit 3Å komersial dan zeolit alam dimodifikasi. Konsentrasi umpan etanol adalah 90 dan 95% -v. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dehidrasi bioetanol dengan VSA dapat meningkatkan kemurnian etanol dari 90 - 95% -v atau etanol teknis menjadi etanol derajat bahan bakar. Disimpulkan bahwa kondisi optimum untuk dehidrator VSA adalah pada tekanan vakum minimal 20 cm.Hg, konsentrasi umpan etanol 95% -v, dan temperatur 80°C. Waktu untuk pergantian kolom terjadi pada volume produksi 1,93 liter untuk ZMS komersial dan 1,63 liter untuk ZMS alam dimodifikasi. ZMS komersial lebih stabil pada tiga kali siklus adsorpsi-desorpsi dari ZMS alami dimodifikasi.

Kata kunci : Bioetanol, dehidrasi, Penyaring Molekuler Zeolit, etanol derajat Bahan Bakar, Vacuum Swing Adsorption.

ABSTRACT

Bioethanol is produced by fermentation of glucose with microorganism and followed by distillation. Distillation process can produce technical grade ethanol with concentration of $\leq 95\text{-v}$. To get Fuel Grade Ethanol (degree of $\geq 99.5\text{-v}$) is required dehydration process. There are a lot of development on bioethanol dehydration techniques, however the productivity is still not efficient and effective. Therefore, a process design is need to improve the system operation for more user-friendly and productive. This research aims are to obtain design of dehydration process of bioethanol by Vacuum Swing Adsorption technique which can produce FGE and to set up optimum condition of dehydration process. The type of Zeolite Molecular Sieve applied in this study was commercial 3Å zeolite and modified natural zeolite. Furthermore, the concentration of ethanol feed for trial run was 90 and 95% -v. The result showed that the dehydration of bioethanol by VSA can increase ethanol purity from 90 to 95% -v or technical grade to fuel grade. It can be concluded that the optimum condition for VSA dehydrator is at minimum vacuum pressure of 20 cm.Hg, the ethanol feed concentration of 95% -v, and temperatur of 80°C. Time for swing at produce volume of 1.93 liter for commercial ZMS and 1.63 liter for

modified natural ZMS. Commercial ZMS was more stable at three times adsorption-desorption cycle than modified natural ZMS.

Keywords : bioethanol, dehydration, Zeolite Molecular Sieve, Fuel Grade Ethanol,Vacuum Swing Adsorption.

PENDAHULUAN

Untuk menghasilkan bioetanol derajat bahan bakar (*fuel grade etanol*) diperlukan tahapan proses dehidrasi. Proses dehidrasi bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang tersisa pada campuran etanol hidrat ($\pm 5\%$) sehingga menjadi etanol anhidrat (Kohl 2004). Teknologi komersial yang efisien untuk mengeringkan etanol adalah adsorpsi air dari uap etanol azeotropik oleh adsorben pada penyaring molekular atau metode *molecular sieve* (MS). Material pengisi *molecular sieve* yang banyak digunakan adalah zeolit (Kundari dan Wiyuniati, 2008). Zeolit *molecular sieve* yang digunakan dalam proses dehidrasi etanol memiliki ukuran pori dengan diameter sebesar 3 Angstrom sehingga ideal untuk menangkap molekul air yang berukuran pori 2.8 Angstroms dan menolak molekul etanol karena berukuran pori 4.4 Angstroms (Onuki, 2006).

Proses dehidrasi etanol yang umum digunakan pada usaha kecil menengah (UKM) ialah menggunakan cara perendaman dengan prinsip pengikatan air secara kimia dan fisika. Kedua cara tersebut tidak menunjukkan proses dehidrasi yang efektif dan efisien. Seiring kemajuan teknologi, proses dehidrasi bioetanol saat ini telah menggunakan kolom *molecular sieve* yang dirangkaikan pada dehidrator kolom tunggal dengan mekanisme adsorpsi pada kondisi vakum. Sistem tersebut menunjukkan kelemahan yaitu kolom MS cepat jenuh dan sulitnya *loading* karena harus bongkar pasang alat ketika akan regenerasi material pengisinya di luar kolom (sistem *batch*). Maka dari itu diperlukan perbaikan desain proses dehidrasi bioetanol skala *pilot plant* dengan menggunakan sistem *vacuum swing adsorption* (VSA).

Pada penelitian ini dehidrasi bioetanol dilakukan menggunakan zeolit *molecular sieve* (ZMS) dengan teknik *vacuum swing adsorption* (VSA) skala *pilot plant*. Sistem VSA memanfaatkan kebalikan dari sistem PSA yaitu penggunaan tekanan adsorpsi di dalam sistem di bawah kondisi atmosferik. Penelitian

sebelumnya mengenai produksi etanol murni dari campuran azeotropik menggunakan *pressure swing adsorption* (PSA) yang dilakukan oleh Pruksatorn dan Vitidsant (2009), menunjukkan parameter operasi seperti suhu proses 100 sampai 120°C, laju alir (80–100 ml/menit), tekanan adsorpsi (2,0–2,4 bar) dan waktu operasi (10–15 menit) mampu meningkatkan kadar etanol dari konsentrasi masukan 92–95% v/v menjadi berkadar 99.50–99.66% v/v.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh desain proses dehidrasi etanol menggunakan sistem *vacuum swing adsorption* yang dapat menghasilkan bioetanol derajat bahan bakar (FGE). Kondisi proses dehidrasi yang optimal akan ditentukan untuk dua jenis ZMS.

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah zeolit *molecular sieve* yaitu zeolit 3A sintetis dan zeolit alam yang dimodifikasi, etanol kadar 90–95% v/v. Alat yang digunakan meliputi spesifikasi alat yang terdapat pada Tabel 1, oven, tabung gas dan perangkat pendukung lainnya.

Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk membuktikan bahwa prinsip *vacuum adsorption* dapat berjalan dengan menggunakan dehidrator etanol kolom MS sistem *batch* atau kolom tunggal dan mengetahui apakah sistem tersebut mampu meningkatkan kadar etanol hingga ≥99.5% v/v. Parameter operasi yang mempengaruhi kondisi proses seperti kisaran tekanan vakum, suhu dan waktu kerja proses diuji coba. Tekanan vakum uji coba berkisar antara 20–30 cm.Hg. Suhu pemanasan *water bath* ialah 100–120°C dan 60–80°C pada tangki. Dimensi kolom MS yang sudah dibuat (panjang 150 cm, lebar 6 inci). Kapasitas kolom ZMS 13 kg. Kolom MS yang digunakan pada percobaan berupa kolom tunggal, regenerasi MS dilakukan di luar setup alat. Hasil percobaan pertama ini digunakan sebagai acuan untuk mendesain alat dehidrasi bioetanol dengan teknik *vacuum swing adsorption* skala *pilot plant*.

Perakitan Alat Dehidrasi Sistem VSA

Pelaksanaan penelitian utama yaitu mendesain alat dehidrasi bioetanol sistem VSA skala *pilot plant* dengan terlebih dahulu menentukan spesifikasi peralatan yang diperlukan untuk merakit peralatan tersebut. Spesifikasi peralatan utama yang dibutuhkan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi peralatan dehidrasi bioetanol sistem VSA

No	Nama Komponen	Ukuran/ Dimensi	Jumlah
1.	Tangki evaporator		
	- adsorpsi (p x d dalam)	30 cm x 8 inci	1
	- desorpsi (p x d dalam)	20 cm x 8 inci	1
2.	Kolom MS (p x l d dalam)	125 cm x 3 inci	2
3.	Kondensor		
	- adsorpsi (p x d dalam)	50 cm x 25 cm	1
	- desorpsi (p x d dalam)	30 cm x 20 cm	1
4.	Pompa vakum	daya ½ pK	2
5.	Tangki produk		
	- adsorpsi (p x l)	30 cm x 6 inci	1
	- desorpsi (p x l)	20 cm x 6 inci	1
6.	Katup	¼, ½, ¾ , 1 inches	14 (@ = 4;6;2;2)
7.	Pipa penghubung	¼ , ½ dan ¾ inches	Sesuai kebutuhan
8.	<i>Vacuum gauge</i>	standar	2
9.	Termometer bulat	standar	6
10	Elemen pemanas listrik	standar	1

Pengujian Kinerja Alat Dehidrator Etanol Sistem VSA

Pada tahap ini pengujian alat VSA dijalankan untuk menghilangkan kadar air dalam campuran azeotrop air-etanol menggunakan kolom yang berisi ZMS. Bioetanol umpan kadar 90 dan 95% v/v sebanyak 5 liter dimasukkan ke dalam tangki evaporator (*tangki 1* berkapasitas ±10 l), lalu dipanaskan pada *water bath* dengan sumber pemanas berasal dari api kompor gas LPG. Selanjutnya, tangki evaporator dikondisikan tekanan udara vakumnya sebesar 10, 20 dan 30cm.Hg. Suhu pemanasan etanol berdasarkan titik didih azeotrop air-etanol yaitu 78–80°C.

Pengujian Mutu FGE

Pengujian *mutu* FGE yang dihasilkan berdasarkan kemurnian produk seperti warna dan aroma (uji inderawi), uji kandungan aldehid dan keasaman larutan

bioetanol (analisis laboratorium), serta deteksi senyawa pengotor menggunakan GC-MS.

Prosedur Analisis

Analisis Kandungan Aldehid

Aldehid (sebagai asetaldehid), diuji sesuai dengan *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, Volume 2, 2005, butir 26.1.24 (SNI 3565:2009).

Uji Keasaman

Keasaman (sebagai asam asetat), diuji sesuai dengan *British Pharmacopoeia 2004, Ethanol (96 percent), Acidity or Alkalinity* (SNI 3565:2009).

Analisis Senyawa Pengotor

Senyawa pengotor yang terkandung dalam bioetanol diidentifikasi menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) Agilent 19091S-433. Larutan bioetanol yang dianalisis terdiri dari dua jenis kadar 95 dan 97%. Analisis dilakukan di Pusat Laboratorium Forensik (Puslabfor) Mabes Polri Jakarta. Alat ini menggunakan kolom kapiler HP-5MS (0.25mm x 30m x 0.25 μ m), laju alir 1.0 ml/menit, injeksi split-splitless dengan volume 1 μ L, split rasio 1:50, gas pembawa Helium, tekanan 6,21 Psi, suhu injektor dan suhu interface masing-masing 290°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Coba Prinsip *Vacuum Adsorption* Kolom Tunggal

Tabel 2 menunjukkan bahwa dehidrasi menggunakan kolom *molecular sieve* dapat bekerja menggunakan sistem *vacuum adsorption* atau adsorpsi air-ethanol pada tekanan udara vakum. Bioetanol berkadar 95% v/v dapat dinaikkan kadarnya menjadi standar *fuel grade ethanol* yakni sebesar 99.5% v/v. Hasil

percobaan ini digunakan sebagai acuan untuk mendesain alat dehidrasi bioetanol menggunakan sistem VSA skala *pilot plant*.

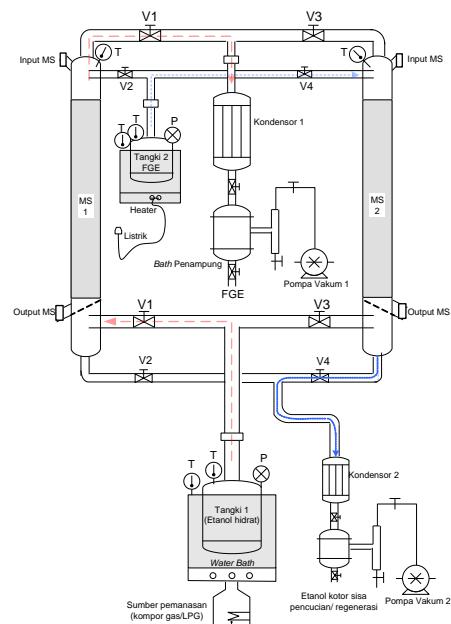
Tabel 2. Parameter operasi uji coba alat dehidrator etanol

Kadar bioetanol umpan (%) (v/v)	Tekanan vakum (cm.Hg)	Suhu tangki (°C)	Kadar bioetanol hasil (%) (v/v)	Waktu kerja (menit)	Laju alir rata-rata (ml/ menit)
95	20	80–85	99.5	120	83.33
95	30	80–85	99.5	115	86.96

Pada alat dehidrasi kolom tunggal ini masih terdapat beberapa kelemahan diantaranya ialah: belum bisa *swing* untuk desorpsi/regenerasi secara *in situ* karena hanya berupa kolom tunggal dengan sistem *batch* sehingga kolom MS cepat jenuh dan harus segera dibongkar untuk diregenerasi di luar proses, *loading* material MS dengan cara ini menyulitkan bagi operator.

Desain Alat Dehidrasi Bioetanol Sistem Vacuum Swing Adsorption (VSA)

Dehidrator VSA yang sudah dirancang terdiri dari empat komponen penyusun utama yaitu kolom *molecular sieve* (MS), tangki evaporator, kondensor dan pompa vakum. Rancang bangun alat dehidrasi sistem VSA ditunjukkan pada Gambar 1.



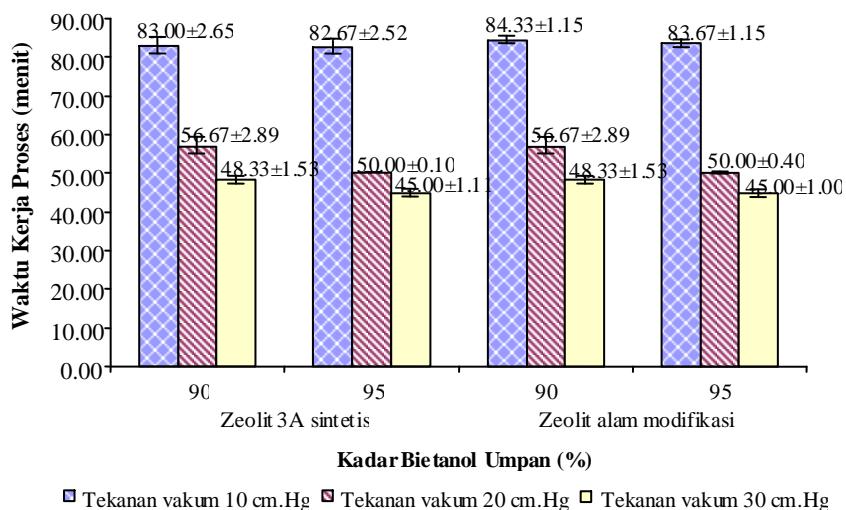
Gambar 1. Alat dehidrasi bioetanol sistem VSA skala *pilot plant*

Pada dehidrator VSA dilengkapi dua tangki evaporator yaitu evaporator adsorpsi (ukuran 30 cm x 3 inci) dengan kapasitas volume bioetanol ± 10 l dan evaporator desorpsi untuk regenerasi (ukuran 20 cm x 8 inci) berkapasitas ± 3 l. Kelengkapan instrumen pada setiap evaporator yaitu *vacum gauge* dan termometer.

Pengujian Kinerja Dehidrator Bioetanol Sistem VSA

Pengaruh tekanan vakum terhadap waktu kerja proses dehidrator VSA

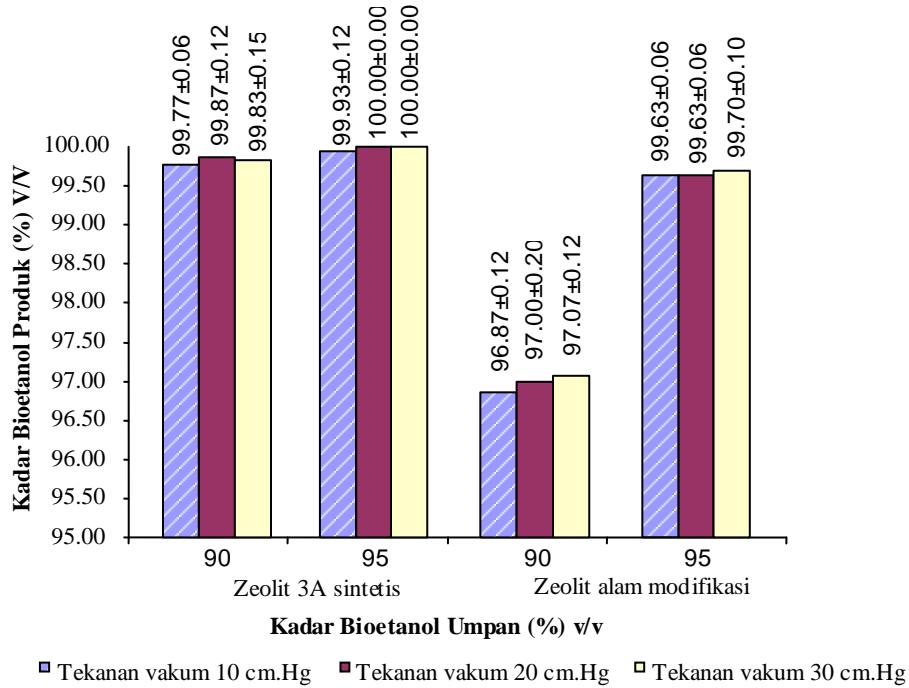
Perbandingan waktu kerja proses pada berbagai tekanan vakum yang diterapkan disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil analisa statistik faktorial RAL menggunakan software SAS versi 9.0 waktu kerja proses dipengaruhi sangat nyata ($\alpha = 0.01$) oleh tekanan vakum yang diterapkan di dalam sistem VSA dan kadar bioetanol umpan yang digunakan. Waktu terlama kerja proses ditunjukkan oleh penerapan tekanan vakum 10 cm.Hg. Sedangkan waktu paling cepat ditunjukkan oleh penggunaan tekanan vakum 30 cm.Hg. Berdasarkan perbandingan berganda Duncan, tekanan vakum 10 cm.Hg berbeda nyata dengan tekanan tekanan vakum 20 dan 30 cm.Hg. Demikian pula tekanan vakum 20 cm.Hg berbeda nyata dengan tekanan 30 cm.Hg.



Gambar 2. Pengaruh tekanan vakum terhadap waktu kerja proses

Pengaruh jenis material pengisi terhadap peningkatan kadar bioetanol

Perbandingan kadar bioetanol yang dihasilkan oleh dehidrator sistem VSA pada dua jenis material pengisi kolom MS diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan kemampuan peningkatan kadar bioetanol

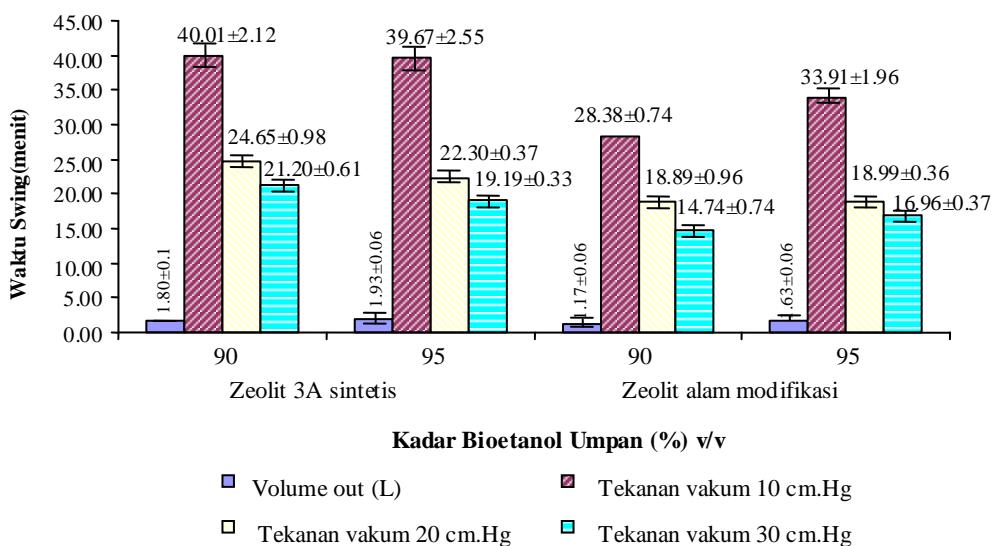
Gambar 3 menunjukkan bahwa material pengisi kolom zeolit 3A sintetis mampu meningkatkan kadar bioetanol umpan minimal 90 % v/v menjadi berkadar *fuel grade ethanol* yaitu sebesar $\geq 99.5\%$. Sedangkan kadar bioetanol umpan supaya dapat ditingkatkan menjadi standar FGE menggunakan zeolit alam modifikasi ialah minimal sebesar 95% v/v. Etanol dengan kadar etanol 95–96% v/v disebut etanol teknis. Karena masih mengandung air, sering disebut sebagai etanol hidrat (SNI 7390:2008). Perlakuan tekanan vakum tidak mempengaruhi kemampuan peningkatan kadar bioetanol oleh kedua jenis material pengisi kolom.

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa jenis material MS yang digunakan, kadar etanol umpan dan tekanan vakum memberikan pengaruh yang sangat nyata ($\alpha=0.01$) pada peningkatan kadar etanol yang dihasilkan. Walau demikian, interaksi hanya terjadi antara jenis zeolit yang digunakan dengan kadar etanol umpan dan berpengaruh sangat nyata. Uji lanjut *Duncan* menyatakan

bahwa jenis zeolit sintetis berbeda nyata dibandingkan dengan zeolit alam modifikasi dalam meningkatkan kadar etanol yang dihasilkan. Dengan demikian, zeolit sintetis cenderung lebih baik untuk digunakan sebagai material pengisi MS pada dehidrator VSA dalam mengeringkan bioetanol menjadi standar FGE.

Penentuan waktu swing (regenerasi kolom MS)

Proses swing ialah teknik pertukaran aliran uap azeotrop etanol-air dari satu kolom ke kolom berikutnya dengan bantuan pompa vakum, dimana salah satu kolom melakukan proses desorpsi/ regenerasi MS sedangkan kolom lainnya melakukan proses dehidrasi. Penentuan waktu swing didasarkan pada pengamatan pada saat kolom MS perlu segera diregenerasi dengan cara menukar balik arah (*swing*) aliran tekanan vakum. Waktu *swing* untuk regenerasi kolom MS ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 4. Waktu swing kolom MS dua jenis material pengisi

Gambar 4 memperlihatkan bahwa semakin rendah kadar bioetanol umpan yang didehidrasi maka akan mempercepat kebutuhan kolom MS untuk segera diregenerasi. Pada zeolit 3A sintetis, kadar etanol umpan 95% diregenerasi ketika mencapai volume produksi ± 1.93 l. Sedangkan zeolit alam modifikasi pada kadar yang sama diregenerasi ketika mencapai volume produksi ± 1.63 l. Hal ini

menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan air pada zeolit sintetis lebih tinggi daripada zeolit alam yang dimodifikasi.

Pengujian rendemen pada volume bioetanol umpan 5 liter

Hasil pengujian rendemen yang dihasilkan pada proses dehidrasi bioetanol dengan volume masukan 5 liter pada dua jenis MS diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rendemen proses dehidrasi bioetanol menggunakan VSA

Jenis MS	Kadar In (%) v/v	Kadar Out (%) v/v	Waktu Kerja (menit)	Volume Out (l)	Rendemen (%)
Zeolit 3 A Sintetis	90	99.87	56.67	4.13 ± 0.12	82.67 ± 2.31
Zeolit Alam Modifikasi	95	100.00	50.00	4.33 ± 0.06	86.67 ± 1.15
	95	99.63	50.00	4.30 ± 0.10	86.00 ± 2.00

Tabel 3 menunjukkan bahwa kedua jenis MS pada kadar bioetanol masukan 95% v/v memperlihatkan kemampuannya untuk meningkatkan kadar, waktu kerja dan rendemen yang relatif sama. Akan tetapi, zeolit 3A sintetis pada kadar masukan 90% masih mampu menghasilkan bioetanol standar FGE dengan rendemen sebesar $82.67 \pm 2.31\%$. Kehilangan (*loss*) bioetanol selama proses dehidrasi berkisar antara 18 sampai 20 %. Dapat diduga selain 10% merupakan kadar air yang masih terkandung dalam azeotrop yang terperangkap dalam ZMS, *loss* produk sebesar 8 sampai 10% berikutnya diperkirakan terdapat pada dasar tangki umpan/evaporator, tersedot ke arah pompa vakum dan berupa residu di sekitar pipa-pipa dan *coil* kondensor.

Uji Mutu Produk FGE

Pengujian mutu FGE yang dihasilkan dari dehidrasi bioetanol menggunakan VSA pada kedua jenis material MS menunjukkan hasil pengujian yang sesuai dengan SNI dengan kategori Mutu I untuk pengujian kandungan aldehid. Sedangkan pada pengujian keasaman, kategori FGE mutu I dihasilkan dari dehidrasi bioetanol menggunakan MS zeolit 3A komersial dan untuk kategori mutu II dihasilkan dari dehidrasi menggunakan MS zeolit alam yang dimodifikasi (Tabel 4). Pengamatan mutu etanol yang dihasilkan pada tahap awal dehidrasi dan setelah mengalami regenerasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Uji Mutu FGE

Uraian Sifat	Unit, Min/Maks	Spesifikasi	Hasil Pengujian, Jenis MS		Metode Uji
			Zeolit 3A Sintetis	Zeolit Alam Modifikasi	
Kadar etanol	%-v,min	99,5 (sebelum denaturasi)	100	99,6	Alkoholmeter
Aldehid (sebagai asetaldehid)	mg/l, maks	mutu 1 = 4 mutu 2 = 5	0,55	2,76	sub 6.4 SNI 3565:2009
Keasaman sebagai CH ₃ COOH	mg/l, Maks	mutu 1 = 20 mutu 2 = 30 mutu 3 = 60	15,12	25,83	sub 6.5 SNI 3565:2009
Tampakan	-	Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran	Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran	Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran	Pengamatan visual
Aroma (bau)	-	Khas etanol, tidak asam	Khas etanol, tidak asam	Khas etanol, tidak asam	Pengamatan visual

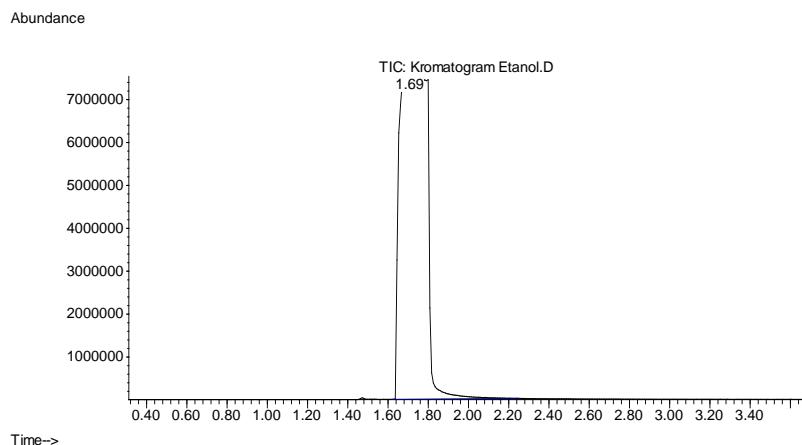
Tabel 5 menunjukkan bahwa zeolit 3A komersial lebih efektif untuk digunakan sebagai material pengisi kolom dalam proses dehidrasi bioetanol menggunakan VSA. Pada penggunaan zeolit komersial ini kadar etanol masih dapat dipertahankan walaupun sudah mengalami 2 kali regenerasi. Akan tetapi kemampuan zeolit alam modifikasi sebagai penyaring molekular senyawa organik khususnya asetaldehid lebih stabil dibandingkan dengan kemampuan yang diperlihatkan oleh zeolit komersial.

Tabel 5. Kemampuan jenis ZMS terhadap penyaringan senyawa pengotor

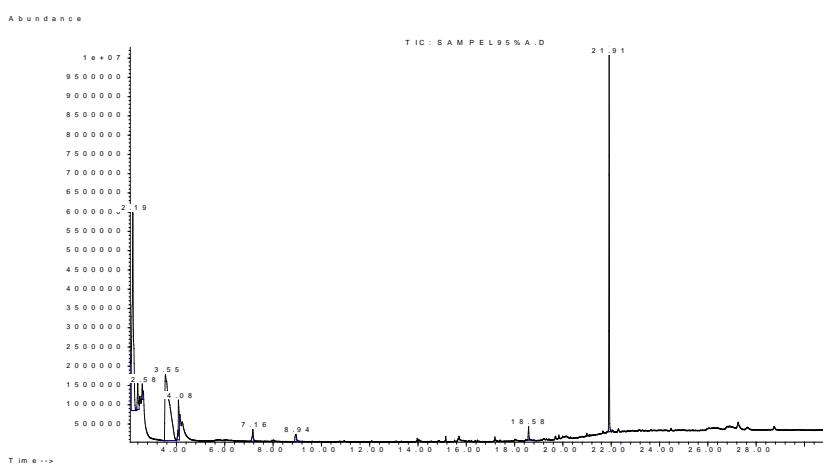
Jenis MS	Proses dehidrasi	Kadar Bioetanol (%)	Asetaldehida (mg/L)	Bilangan Asam (mg/L)
Zeolit komersial	dehidrasi awal	100	0,55	15,12
	Regenerasi 1	100	3,35	13,86
	Regenerasi 2	99,5	12,70	13,23
	Regenerasi 3	95	12,81	30,87
Zeolit alam modifikasi	dehidrasi awal	99,6	2,76	25,86
	Regenerasi 1	99,5	1,66	13,23
	Regenerasi 2	97	3,86	15,75
	Regenerasi 3	95	0,55	55,44

Identifikasi kandungan senyawa pengotor dalam larutan bioetanol

Kromatogram GC-MS fraksi etanol ditunjukkan pada Gambar 5. Sedangkan kromatogram senyawa pengotor yang terkandung dalam bioetanol hasil analisa GC-MS disajikan pada Gambar 6 dan 7.

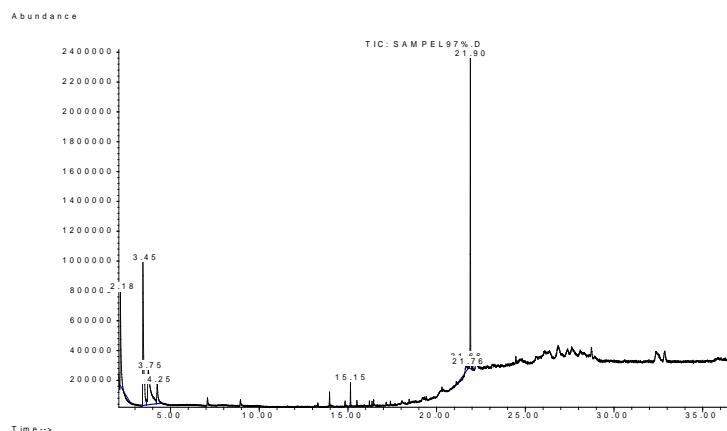


Gambar 5 Kromatogram GC-MS fraksi etanol



Gambar 6. Kromatogram GC-MS bioetanol kadar 95%

Dari hasil analisis menggunakan GC-MS diketahui bahwa terdapat senyawa sebanyak 12 dan 9 jenis pada kadar 95% dan 97%, melalui data *library mass spectrometry* struktur kimia senyawa tersebut dapat diketahui. Hasil pengamatan lebih lanjut, pengujian senyawa pengotor pada bioetanol kadar 95% teridentifikasi 9 puncak kromatogram utama, sedangkan pada kadar 97% terdapat 5 puncak utama (Gambar 6 dan 7). Identifikasi senyawa yang muncul ditampilkan pada Tabel 6 dan 7. Berdasarkan data identifikasi senyawa pengotor pada kadar 95% (Tabel 6), terlihat bahwa terdapat tiga senyawa utama yaitu senyawa penyusun minyak fusel, derivat asam karboksilat (ester) dan aldehida. Sedangkan pada kadar 97% dapat teridentifikasi senyawa toluena yang merupakan jenis hidrokarbon aromatik (Tabel 7).



Gambar 7. Kromatogram GC-MS bioetanol kadar 97%

Tabel 6. Identifikasi GC-MS senyawa pengotor dalam ioetanol kadar 95 %

No	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Area	Luas Area	Keterangan
1.	2.20	propil alkohol	26.84	137.730.227	penyusun minyak fusel
2.	2.40	butil alkohol	11.67	24.143.280	penyusun minyak fusel
3.	2.59	isobutil alkohol	12.54	29.120.412	penyusun minyak fusel
4.	3.56	asetaldehida	20.63	62.355.129	jenis aldehida
5.	4.10	isoamil alkohol	9.54	29.992.558	penyusun minyak fusel
6.	7.17	dietil asetal	0.95	10.423.015	jenis aldehida
7.	8.94	metil butanal	0.77	8.617.745	jenis aldehida
8.	18.58	etil ester	0.98	6.742.485	jenis ester (derivat asam karboksilat)
9	21.91	<i>pthalate acid/asam benzenadikarboksilat</i>	14.20	147.672.100	jenis ester (derivat asam karboksilat)

Tabel 7. Identifikasi GC-MS senyawa pengotor dalam bioetanol kadar 97%

No	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Area	Luas Area	Keterangan
1.	2.18	isobutil alkohol	8.49	14.696.760	penyusun minyak fusel
2.	3.45	asetaldehida	23.18	33.381.552	jenis aldehid
3.	3.75	isoamil alkohol	19.87	27.353.092	penyusun minyak fusel
4.	4.25	metil benzena (toluena)	6.04	6.389.506	jenis hidrokarbon aromatik
5.	21.90	<i>pthalate acid/asam benzenadikarboksilat</i>	28.87	32.430.849	jenis ester (derivat asam karboksilat)

KESIMPULAN DAN SARAN

Proses dehidrasi bioetanol menggunakan VSA mampu meningkatkan kadar etanol 90-95%-v atau derajat teknis menjadi kadar etanol standar bahan bakar (*fuel grade ethanol*) dengan kadar $\geq 99.5\text{-}v$. Kondisi proses yang optimal untuk

alat dehidrasi etanol sistem VSA baik pada saat dehidrasi maupun regenerasi ialah penggunaan tekanan vakum minimal sebesar 20 cm.Hg dan temperatur pemanasan 80°C. Waktu swing dehydrator VSA dengan material pengisi kolom zeolit komersial ialah ketika mencapai volume produksi 1.93 liter sedangkan dengan zeolit alam modifikasi dilakukan pada saat mencapai 1.63 liter dengan kadar etanol umpan 95%-v. Material pengisi yang digunakan dalam kolom MS yaitu zeolit 3A sintetis memiliki kemampuan peningkatan kadar bioetanol yang relatif tinggi akan tetapi tingkat selektifitas terhadap senyawa pengotor lebih rendah dibandingkan zeolit alam yang dimodifikasi Mutu FGE yang dihasilkan sesuai dengan SNI etanol nabati tahun 2009, terutama pada nilai pengamatan kandungan aldehid dan keasaman dalam larutan bioetanol tergolong kategori mutu 1 sampai 2.

DAFTAR PUSTAKA

- Kohl S. 2004. *Ethanol 101-7 : Dehydration*. Ethanol Today. Maret 2004.http://www.ovsclub.com.vn/dapatic/File/Ethanol_Dehydration.pdf. [08-04-09]
- Kundari NA dan Wiyuniati S. 2008. Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir. Yogyakarta 25-26 Agustus 2008. Hal: 489-496
- Nugraha HA, Libriantin R, Pariyem, dan Fransisca H. 2008. Pemurnian Etanol-Air Menggunakan Membran Selulosa Asetat Termodifikasi dengan Metode Pervaporasi. Laporan Akhir Program Kreativitas Mahasiswa Penelitian (PKMP). Universitas Padjadjaran. Jatinangor.
- Onuki S. 2006. *Bioethanol : Industrial production process and recent studies*.www.public.iastate.edu/~tge/course/ce521/sonuki.pdf. [16-04-09]
- Pruksathorn P dan Vitidsant T. 2009. *Production of Pure Ethanol from Azeotropic Solution by Pressure Swing Adsorption*. Am. J. of Engg. & Applied Sci., 2 (1) : 1-7. Science Publications.
- Rakhmatullah DKA, Wiradini G, dan Ariyanto NP. 2007. Pembuatan Adsorben dari Zeolit Alam dengan Karakteristik *Adsorption Properties* untuk Kemurnian Bioetanol. Laporan Akhir Penelitian Bidang Energi Penghargaan PT. Rekayasa Industri. Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri. ITB. Bandung SNI 3565:2009. SNI Etanol Nabati. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta

INTROGRESI AROMA PADI MENTIK WANGI BERBATUAN MARKA BRADBURY

(Bradbury marker-assisted introgression of Mentik Wangi-mutated *badh2* gene)

Djarot Sasongko Hami Seno¹⁾, Tri Joko Santoso²⁾, Zainal Alim Mas'ud³⁾

¹⁾Dep. Biokmia, Fakultas Matematika dan IPA IPB, ²⁾ BB Biogen DEPTAN,

³⁾ Laboratorium Terpadu IPB

ABSTRAK

Marker-assisted PCR merupakan metoda seleksi aroma paling potensial. Berbagai marka telah dipublikasikan, namun umumnya kurang sesuai untuk varietas Indonesia. Marka Bradbury *et al.* (2005b) merupakan marka dengan sistem multiplek sehingga perbedaan ukuran amplikon sampel aromatik dan nonaromatik lebih jelas dibandingkan marka sistem duplek yang hanya mengandalkan perbedaan ukuran mutasi gen *badh2* yang relative kecil (8-11 bp). Mentik Wangi dan Gunung Perak merupakan padi aromatik Indonesia yang dapat dibedakan dari varietas nonaromatik oleh marka Bradbury. Penelitian ini mengaplikasikan marka Bradbury pada introgresi aroma Mentik Wangi ke varietas nonaromatik Ciherang secara persilangan terarah (*site-directed crossing*), untuk merekayasa varietas aromatik baru nontransgenik dengan karakter agronomi lain (produktivitas, dsb.) sebaik varietas Ciherang. Donor aroma Mentik Wangi disilangkan dengan Ciherang (*host*), selanjutnya *dibackcross* dengan Ciherang sampai BC2F1. Pada setiap generasi persilangan/*backcross* dilakukan seleksi PCR berbantuan marka Bradbury. Didapatkan marka Bradbury stabil membedakan sampel Ciherang, Mentik Wangi dan persilangan/*backcross* kedua varietas. Selain itu dapat membedakan status gen (*native/termutasi*) dan alel (*homozygote/ heterozygote*) *badh2*. *Backcross* dan *selfing* lebih lanjut untuk mendapatkan BC5F2 dalam pelaksanaan.

Kata kunci : *Backcross*, Bradbury, Mentik Wangi, Ciherang, *badh2*, *site-directed crossing*.

ABSTRACT

Marker-assisted PCR has been considered as the most potential method for fragrant selection. Various fragrant marker had been previously reported, however most are unsuitable for Indonesia rice varieties. The multiplex fragrant marker of Bradbury *et al.* (2005b) has been able to clearly discriminate between aromatic and non-aromatic amplicons, compared to those of duplex markers based on the small (8-11 bp) difference between native and mutated *badh2* gene. Mentik Wangi and Gunung Perak are Indonesia fragrant rice distinguishable by Bradbury marker. This research applied Bradbury marker in the introgression of Mentik Wangi aroma into Ciherang rice through site-directed crossing, to develop new nontransgenic fragrant variety with good agronomic traits (productivity, etc.) as those of non-fragrant Ciherang. Fragrant donor Mentik Wangi was crossed with Ciherang host, and further *backcrossed* to Ciherang until BC2F1. Bradbury marker-assisted PCR was used to select progeny in every cross and *backcross* generation. Bradbury marker was stable to discriminate between Ciherang, Mentik Wangi, and their cross/*backcross*. The marker was also able to identify the statuses of *badh2* gene (*native/mutated*), as well as alleles (*homozygote/heterozygote*). Further *backcross* and *selfing* to obtain BC5F2 is in progress.

Keywords : *Backcross*, Bradbury, fragrant, Mentik Wangi, *badh2*, site-directed crossing.

PENDAHULUAN

Meningkatnya nilai komersial dan permintaan pasar akan padi aromatik telah mendorong pengembangan varietas padi aromatik baru dengan karakter agronomi sebaik varietas nonaromatik. Senyawa aromatik 2-asetil-1-pirolin (2AP) merupakan komponen aroma utama pada berbagai varietas padi aromatik (Buttery *et al.* 1983, Paule and Powers 1989, Petrov *et al.* 1996); yang terdeteksi pada semua bagian tanaman padi, kecuali akar (Lorieux *et al.* 1996). Prekursor dan sumber nitrogen 2-AP adalah senyawa osmoprotektan prolin (Lorieux *et al.* 1996, Yoshihashi *et al.* 2002), yang juga merupakan precursor asam glutamat melalui kerja enzim *betaine aldehyde dehydrogenase* (*BADH2*). Padi aromatik mengalami mutasi gen *badh2* yang menyandi enzim tersebut, sehingga mengakibatkan stop kodon prematur dan hilangnya aktivitas enzim (Bourgis *et al.* 2008). Akibatnya ketersediaan prolin untuk sintesis 2AP meningkat dan akumulasi 2AP menimbulkan aroma padi (Ahn *et al.* 1992, Bradbury *et al.* 2005a, b). Bourgis *et al.* (2008) mendapatkan mutasi ekson 7 gen *badh2* (*badh2.7*) pada KDM105 dari indica, Basmati dari Grup V, dan Azucena dari tropical japonica. Mutasi pada ekson 2 (*badh2.2*) juga ditemukan pada beberapa varietas di Cina (Shi *et al.* 2008). Sementara Mutasi pada ekson lain juga telah diusulkan (Fitzgerald *et al.* 2008, Kovach *et al.* 2009), namun masih perlu studi lebih lanjut.

Berdasarkan urain di atas, aroma dapat diintroduksi pada padi nonaromatik melalui inaktivasi gen *badh2*, yang dapat dilakukan melalui berbagai metoda rekayasa genetik seperti : ekspresi gen/fragmen pada orientasi antisense; kloning bagian gen dalam konstruksi RNAi dan mengekspresikannya pada tanaman transgenik; mutagenesis melalui TILLING (Targeting Induced Local Lesions IN Genomes), insersi tDNA, atau metoda lain yang diikuti dengan skrining PCR/metoda lain untuk mendapatkan varian aromatik; atau kloning gen aromatik yang rusak/termutasi pada varietas nonaromatik (Wachana *et al.* 2004, Vanavichit *et al.* 2008). Namun metoda-metoda ini akan menghasilkan produk varietas tanaman transgenik yang pemasarannya terhambat oleh regulasi GMO (*Genetically Modified Organisms*) yang ketat. Sementara persilangan konvensional/acak (random crossing) akan menghasilkan varietas yang karakter

agronominya sulit diarahkan. Alternatif lain adalah seperti pendekatan penelitian ini, menggunakan teknik *backcross* (*Site-directed crossing*) untuk mendapatkan turunan homozygot resesif, sehingga dapat diperoleh varietas nontransgenik dan hasil persilangan dapat diarahkan (introgressi donor minimal/retensi host maksimal) dengan bantuan analisis molekuler, misalnya PCR berbantuan marka spesifik aromatic. Melalui pembentukan populasi hingga BC5 akan diperoleh turunan dengan sifat yang mendekati hampir 100 % *host*. Hanya karakter donor (misalnya aroma) yang diinginkan yang terintroduksi pada host, sehingga dapat dipertahankan karakter yang baik pada padi *host* (Mackill *et al.* 2007). *Selfing* (pembentukan BC5F2) diperlukan untuk introduksi sifat yang progeni gennya bersifat resesif (misalnya sifat aromatik), sedangkan untuk yang dominan (misalnya toleransi genangan) cukup hingga BC5F1. Metoda *site-directed crossing* telah digunakan dengan nama *marker-assisted backcrossing* atau *PCR-assisted backcrossing* (Mackill *et al.* 2007, Lang and Buu 2008), namun umumnya hanya sampai BC3F1, BC2F2, dsb. Kelebihan *site-directed crossing* dibandingkan *conventional/random crossing* dan rekayasa genetik terlihat pada Tabel 1.

Analisis molekuler (misalnya PCR) sangat diperlukan untuk memastikan bahwa tanaman yang akan dibackcross telah mengandung gen yang ditargetkan (Mackill *et al.* 2007) serta membantu mempersingkat tahapan penelitian. Pada introduksi sifat aroma yang sifatnya resesif (Bradbury *et al.* 2005), aroma timbul jika alel gen *badh2* dalam keadaan resesif homozygot, sementara progeni *backcross* heterozygot, sehingga tidak bisa diseleksi dengan uji aroma. Varietas resesif homozygot aromatik diperoleh setelah dilakukan *selfing* untuk mendapatkan BC5F2. Tanpa bantuan analisis molekuler, harus dilakukan *selfing* pada tiap generasi *backcross*, sehingga waktu penelitian menjadi 2 x lebih lama.

Penemuan adanya delesi 8 bp dan 3 SNPs gen *badh2* pada kromosom 8 pada padi aromatik varietas Jasmin dan Basmati (Bradbury *et al.* 2005a) dibandingkan padi nonaromatik menghasilkan pengembangan marka yang dapat mendekripsi dan sekaligus membedakan padi aromatik/nonaromatik (Bradbury *et al.* 2005b). Marka lain juga telah dikembangkan diantaranya RM 223 (Lang and Buu 2008), FM-E7 dan FM-E2A (Shi *et al.* 2008), serta Badex7-5 (Sakthivel *et al.*

2009). Perbedaan sekuen *badh2* padi aromatik dan nonaromatik akan menghasilkan produk ampifikasi PCR yang berbeda sehingga dapat dibedakan padi aromatik, nonaromatik, maupun heterozygot hasil persilangan keduanya. Oleh karena itu akan dapat dilacak keberadaan alel dari donor pada individu progeni di setiap generasi *backcross* dan memastikan bahwa progeni yang akan di *backcross* selanjutnya dengan host adalah heterozygot, sehingga tidak perlu dilakukan *selfing* tiap generasi *backcross* untuk memastikan individu progeni heterozygot. Metoda seleksi progeni Ciherang-aromatik yang digunakan pada penelitian ini adalah PCR menggunakan marker Bradbury *et al.* (2005b). Marker ini mempunyai kelebihan dari marker-marker aromatik yang lain (Lang and Buu 2008, marker Shi *et al.* 2008, Sakthivel *et al.* 2009) karena perbedaan ukuran amplikon sampel padi aromatik dan nonaromatik relatif besar sehingga lebih mudah dibedakan, tanpa harus menggunakan agarosa konsentrasi tinggi atau akrilamid.

Tabel 1 Perbandingan metoda pemuliaan tanaman

Uraian	<i>Conventional crossing</i> (random crossing)	Persilangan terarah (site-directed crossing)	Rekayasa Genetik
Produk	Non GMO*	Non GMO*	GMO
Stabilitas	Puluhan tahun*	Puluhan tahun*	Belum teruji untuk waktu lama
Introduksi sifat	NonSpesifik/Non-Selektif	Spesifik/Selektif*	Spesifik/ Selektif *
Sifat rekombinasi	Tidak terarah	Terarah*	Terarah*
Waktu pengerjaan	<ul style="list-style-type: none"> • 8-10 bulan bila belum tersedia tanaman* • 4 -5 bulan bila sudah tersedia tanaman* 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 – 3 tahun bila mulai dari awal • 8-10 bulan bila belum tersedia BC4F1* • 4-5 bulan bila sudah tersedia BC4F1* 	2 – 3 tahun
Efek negatif	Tidak ada*	Tidak ada*	Belum diketahui
Pemasaran produk	Tidak bermasalah*	Tidak bermasalah*	Terhambat regulasi GMO

Keterangan : * = aspek positif, terlihat metoda *site-directed crossing* mengadopsi aspek positif dari metoda *conventional breeding* dan metoda rekayasa genetik

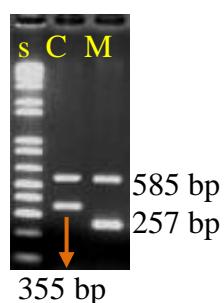
METODE PENELITIAN

Benih tanaman padi yang digunakan diperoleh dari BB Biogen KemTan (Bogor), BB Padi KemTan (Sukamandi), dan LIPI (Cibinong). Persilangan dan *backcross* mengacu pada Soedyanto *et al.* (1978). DNA diisolasi dari daun muda sampel tanaman sesuai metoda Doyle and Doyle (1990). Konsentrasi dan kemurnian DNA ditentukan secara spektrofotometri pada 260 nm dan 260/280 nm (Sambrook *et al.* 1989). Seleksi PCR (campuran reaksi dan siklus suhu) dilakukan menurut Bradbury *et al.* (2005b). Produk PCR diseparasi pada elektroforesis agarose (1-2 %) dengan menyertakan standar DNA sizer, divisualisasi dengan ethidium bromida dan penyinaran UV, kemudian dilanjutkan dengan dokumentasi menggunakan *gel documentation system* (Sambrook *et al.* 1989, Bradbury *et al.* 2005b).

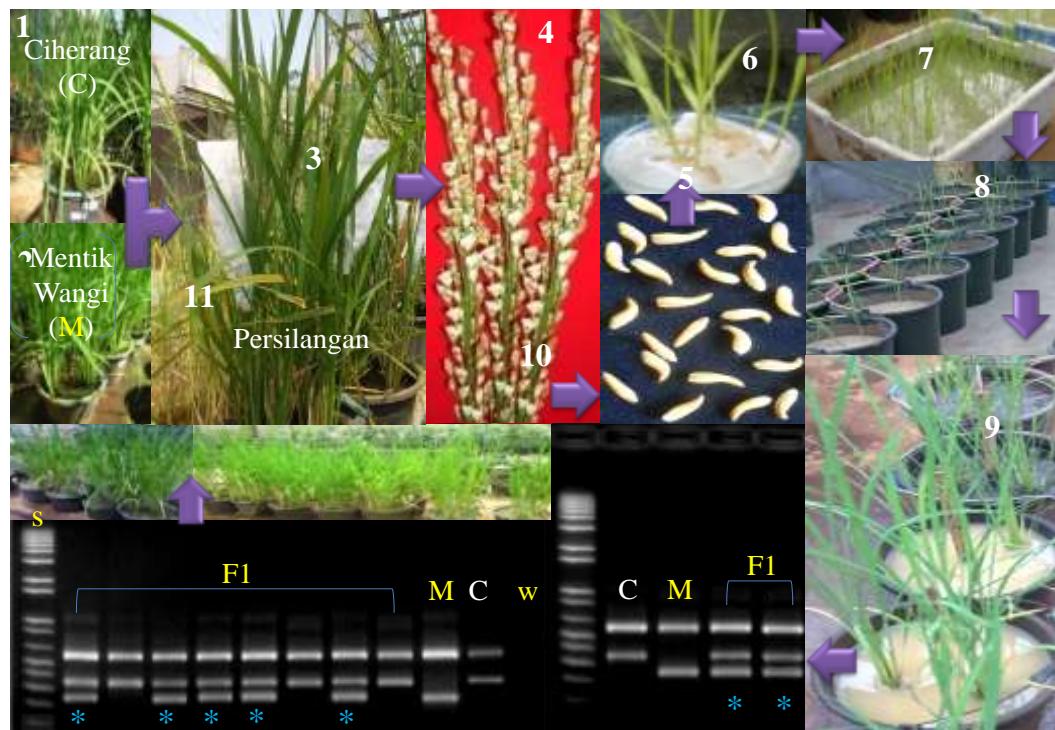
HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil PCR Ciherang dan Mentik Wangi dengan marka Bradbury

DNA sampel Ciherang dan Mentik Wangi diamplifikasi menggunakan PCR dengan marka aromatik Bradbury. Hasilnya (Gambar 1) menunjukkan adanya perbedaan amplikon Ciherang (355 bp, merefleksikan *native badh2*) dan Mentik Wangi (257 bp, merefleksikan *badh2* termutasi), sesuai dengan publikasi Bradbury *et al.* (2005b).



Gambar 1. Amplikon Ciherang dan Mentik Wangi. s=1 kb size marker, C=Ciherang, M=Mentik Wangi.



Gambar 2. Contoh hasil percobaan pada pembentukan dan seleksi F1 Ciherang-Mentik Wangi.

Pembentukan dan seleksi F1 dengan PCR berbantuan marka Bradbury

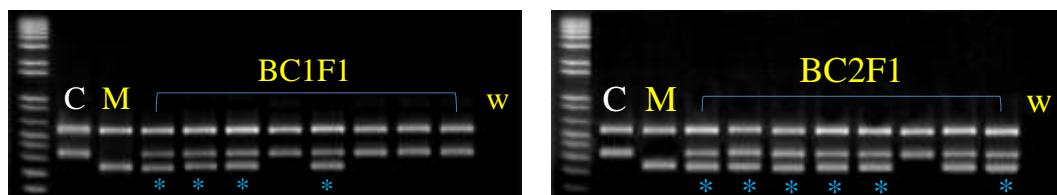
Outline tahapan percobaan dan contoh hasil pembentukan serta seleksi F1 disajikan pada Gambar 2. Tanaman *host* (Ciherang) dan donor aroma (Mentik Wangi) yang pembungaan bersamaan disilangkan kemudian dilanjutkan penanamannya sampai panen. Bersamaan dengan *host* dan donor, biji kering F1, ditanam berturut-turut pada petri dis, bak, kemudian pot/ember. DNA sampel tanaman kemudian diamplifikasi PCR dengan marka Bradbury. Produk PCR dielektroforesis, dilanjutkan visualisasi gel serta dokumentasi menggunakan *gel doc*. 1–4 = contoh tanaman Ciherang, Mentik 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, M = Mentik Wangi, C = Ciherang, F1= F1 Ciherang-Mentik Wangi, dan w = air (control negatif). Panah menunjukkan urutan langkah percobaan. * menunjukkan F1 heterozygot, digunakan untuk menyeleksi tanaman F1 (11) yang akan di

backcross selanjutnya dengan Ciherang untuk mendapatkan BC1F1. Ukuran amplikon sebagaimana pada Gambar 1.

Hasil yang diperoleh menunjukkan marka Bradbury dapat membedakan sampel padi nonaromatik host yang mengandung gen *native badh2*, padi donor aromatik yang mengandung gen *badh2* termutasi, maupun hasil persilangan keduanya (F1), seperti yang dipublikasikan (Bradbury *et al.* 2005b). Keberhasilan pembentukan F1 terlihat dari adanya pita heterozygot sampel F1.

Profil PCR BC1F1 dan BC2F1 dengan marka Bradbury

Tahapan percobaan dilakukan seperti pada Gambar 2, hanya Ciherang tidak disilang dengan Mentik Wangi, tapi dibackcross dengan F1 atau BC1F1. Hasil seleksi PCR (Gambar 3) menunjukkan keberhasilan *backcross* dengan adanya pita heterozygot sampel BC1F1 dan BC2F1, seperti hasil pada F1.



Gambar 3. Profil PCR BC1F1 dan BC2F1 dengan marka Bradbury. C=Ciherang, M=Mentik Wangi, w=air (kontrol negatif), * = progeni heterozygot BC1F1 atau BC2F1. Ukuran amplikon seperti pada Gambar 1.

Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan marka Bradbury dapat menunjukkan introgresi *badh2* termutasi dari tanaman padi donor ke *host*. Selain itu konsisten dalam mengidentifikasi status gen (*termutasi/native*) atau alel (*homozygot/heterozygot*) *badh2* padi nonaromatik Ciherang, aromatik Mentik Wangi, dan hasil persilangan (F1) serta *backcross* kedua varietas tersebut (BC1F1 dan BC2F1). Berbeda dengan publikasi sebelumnya yang mendapatkan marka ini kurang konsisten pada diskriminasi alel aroma padi Basmati varietas Pusa (Amarawathi *et al.* 2008, Sakthivel *et al.* 2009). Kemungkinan pola mutasi gen *badh2* pada varietas yang digunakan tersebut tidak sesuai/kompatibel dengan Marka Bradbury, seperti kelompok 2 varietas aromatik Indonesia (Pandan Wangi, Gilirang) (Hami Seno *et al.* 2009).

Dari semua marka aromatik yang telah dilaporkan, hanya marka Bradbury *et al.* (2005b) yang menggunakan 4 primer (multiplek), sedangkan marka-marka yang lain Lang and Buu 2008, Shi *et al.* 2008, Sakthivel *et al.* 2009) menggunakan 2 primer (duplek). Sistem multiplek mempunyai kelemahan karena lebih kompleks, amplifikasi lebih lemah, inkonsistensi akibat kompetisi pengikatan primer dengan DNA templat, dan amplifikasi nonspesifik akibat sedikit perbedaan konsentrasi primer (Sakthivel *et al.* 2009). Hasil yang diperoleh pada penelitian ini juga menunjukkan tidak meratanya hasil amplifikasi masing-masing pita (257 bp, 355 bp, dan 585 bp), namun hal ini relatif tidak mengganggu.

Ukuran pita aromatik dan nonaromatik yang dihasilkan oleh marka Bradbury relatif paling besar dan mudah terlihat atau dipisahkan dengan gel agarosa. Sementara marka-marka lain yang menggunakan sistem duplex perbedaan tersebut relatif kecil (Lang and Buu 2008, Shi *et al.* 2008, Sakthivel *et al.* 2009) dan kadang harus menggunakan gel poliakril amida (Shi *et al.* 2008), karena hanya bergantung pada perbedaan basa akibat delesi gen *badh2*. Selain delesi pada ekson 7 yang telah ditemukan (Bradbury *et al.* 2005b, Borquis *et al.* 2008), Shi *et al.* (2008) 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 (11 bp pada ekson 7 dan 7 bp pada ekson 2) dan harus menggunakan gel poliakril amida.

KESIMPULAN

1. Introgressi gen aroma (*badh2* termutasi) berbantuan marka Bradbury berhasil dilakukan hingga BC2F1.
2. Marka bradbury dapat mengidentifikasi keberadaan gen *badh2*, serta status gen (*native*/termutasi) maupun alel (homozygot/heterozygot) *badh2* pada sampel varietas padi nonaromatik Ciherang, aromatik Mentik Wangi, dan hasil persilangan/backcross kedua varietas tersebut (F1, BC1F1, BC2F1)
3. Marka Bradbury cocok untuk digunakan sebagai marka seleksi pada pengembangan varietas padi aromatik baru berbasis Mentik Wangi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis beserta tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional, atas dana yang telah diberikan (Nomor kontrak : 343/SP2H/PP/DP2M/VI/2009 tanggal 16 Juni 2009 dan 189/SP2H/PP/DP2M/III/2010 tanggal 1 Maret 2010) sehingga 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 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 fragrance gene from an aromatic *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 rice 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.

- 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
- Kovach M J, Calingacion M N, Fitzgerald M A, and McCouch S R (2009) The origin and evolution of fragrance in rice (*Oriza sativa L.*). PNAS 106:14444-14449.
- IRRI (2004) Varietas unggul padi sawah yang dilepas sejak 1943-2004. <http://www.knowledgebank.irri.org/regionalSites/indonesia/docs/padiSawah.Pdf>
- Lang NT dan Bu BC (2008) Development of pcr-based markers for aroma (*fgr*) gene in rice (*Oryza sativa 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.
- Paule CM, Powers JJ (1989) Sensory and chemical examination of aromatic and non aromatic 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.
- Reinke RF, Welsh LA, Reece JE, Lewin LG and Blakeney AB (1991) Procedures for quality selection of aromatic rice varieties. *Int. Rice Res. Newslett.* 16: 10–11.
- Sakthivel K, Rani NS, Pandey MK, Sivarajani 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. Fedoroff (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 aromatic and nonaromatic thai rice cultivars. *KKU Sci. J.* 36(4): 290-301.

- Tanchotikul U and Hsieh TCY (1991) An improved method for quantification of 2-acetyl-1-pyrroline, a "popcorn"-like aroma, in aromatic 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-aromatic to aromatic 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 aromatic rice variety. *J Agric Food Chem* 50:2001–2004.

**SIMULASI PEMANFAATAN DATA LOSAT DAN
PENGEMBANGANNYA UNTUK MENETAPKAN SPESIFIKASI
MUATAN UTAMA (*PAYOUTLOAD*) DARI *ROADMAP* PELUNCURAN
SATELIT LAPAN (LISAT) TAHUN 2013 UNTUK MENDUKUNG
PROGRAM KETAHANAN PANGAN NASIONAL**

(Simulation of Losat Data and Development of Payload Specification from
Lounching Lisat Roadmap for National Food Security)

**Hari Wijayanto¹⁾, Anas Miftah Fauzi²⁾, Irzaman³⁾, Hendradi Hardhienata³⁾,
Bambang H. Trisasonko⁴⁾**

¹⁾Dep. Statistika, Fakultas Matematika dan IPA IPB,

²⁾Dep. Teknologi Industri, Fakultas Teknologi Pertanian IPB,

³⁾Dep. Fisika, Fakultas Matematika dan IPA IPB, ⁴⁾Depa. Ilmu Tanah dan
Sumberdaya Lahan, Fakultas Matematika dan IPA IPB

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang roadmap pengembangan satelit kerjasama LAPAN dan IPB (LAPAN-IPB SAT atau disingkat dengan LISAT) untuk mendukung program Ketahanan Pangan Nasional. Sensor yang akan terpasang dalam LISAT memiliki kemampuan dasar menyediakan data dasar bagi pemantauan lahan pertanian semusim, terutama padi, yang ditekankan pada perolehan informasi berbagai fase pertumbuhan padi serta estimasi luasan panen atau awal musim tanam. LISAT akan dibangun sebagai kelas satelit-mikro bagi misi penginderaan jauh ketahanan pangan. Identifikasi sementara kamera sensor penginderaan jauh yang diperlukan adalah kemampuan deteksi pada 4 band spektral (biru, hijau, merah dan infra-merah dekat), resolusi pengamatan bumi 10 meter dan cakupan 60 km. LISAT akan ditempatkan di low earth orbit (LEO) pada konfigurasi sun-synchronous orbit (SSO) dengan lintasan orbit kutub bumi (polar orbit), sehingga akan melintasi katulistiwa pada waktu (equator crossing time) yang selalu tetap. LISAT akan dirancang untuk beroperasi pada ketinggian orbit antara 600 – 700 km. Sejak peluncuran satelit LAPAN-TUBSAT pada tahun 2007, Indonesia telah dan terus mengembangkan misi pemantauan bumi untuk berbagai keperluan. Misi pemantauan terbaru yaitu LAPAN-ORARI Satellite (LOSAT) saat ini sedang dalam taraf pengembangan dan diharapkan dapat diluncurkan pada tahun 2011. Untuk memfasilitasi pemanfaatan misi tersebut, berbagai percobaan terhadap spesifikasi sensor perlu dilakukan. Makalah ini menyajikan hasil percobaan dengan memanfaatkan data simulasi untuk aplikasi pemantauan dan pemetaan kawasan pesawahan dipadu dengan algoritma pohon keputusan QUEST. Hasil percobaan menunjukkan bahwa tiga kanal data simulasi LOSAT menghasilkan informasi dengan akurasi yang cukup tinggi.

Kata kunci: Ketahanan pangan, penginderaan jauh, roadmap, teknologi satelit

ABSTRACT

This research describes the food sustainability roadmap development of the joint cooperation satellite between LAPAN and IPB (LAPAN-IPB SAT or LISAT) to support the National Food Sustainability Program. The installed sensors in LISAT will have the basic ability to present data about seasonal agricultural field, especially rice with data emphasis on rice growing phases as well as estimation of the harvest area and beginning of the harvest season. LISAT will be build as a micro satellite class for the food sustainability remote sensing mission. Temporary identification of remote sensing camera consists of the ability to detect 4 spectral bands (blue, green, red, and near infra red), 10 m earth resolution, and 60 km image coverage. LISAT will be placed in the low earth

orbit (LEO) at sun-synchronous orbit (SSO) with polar orbit trajectory so that it will pass the equator at similar periods. LISAT will be manufactured to operate at an orbit altitude of 600 – 700 km. Since the launch of LAPAN-TUBSAT satellite in 2007, Indonesia has been closely involving with earth observation missions for various applications. The next generation mission, called LAPAN-ORARI Satellite (LOSAT), is currently under development and expected to be launched in 2011. In order to facilitate the applications, a thorough assessment of the sensor should be made. This paper presents an examination of simulated LOSAT data for rice monitoring and mapping purposes coupled with QUEST statistical tree. We found that three-band simulated LOSAT data were suitable for the task with reasonably high accuracy.

Keywords: Food sustainability, remote sensing, roadmap, satellite technology

PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan salah satu aspek utama dan mendasar yang menjadi perhatian semua negara di dunia. Menurut definisi, ketahanan pangan (*food security*) merupakan suatu kondisi dimana setiap orang pada setiap saat dapat mempunyai akses fisik secara ekonomis terhadap makanan bergizi dan berkecukupan untuk memenuhi kebutuhan makanan sehari-hari untuk dapat hidup aktif dan sehat. Berdasarkan definisi diatas maka ketahanan pangan dapat tercapai bila sumber (tingkat produksi) makanan yang berasal dari daratan maupun lautan dapat dijamin secara kontinyu. Pada lima tahun terakhir ini, kecukupan pangan (terutama beras) yang merupakan salah satu komponen dalam ketahanan pangan dijadikan salah satu tolok ukur kinerja pemerintah.

IPB sebagai perguruan tinggi terkemuka dalam bidang pertanian dan perikanan, dimana telah banyak melakukan studi yang berkaitan dengan ketahanan pangan di Indonesia, mendapatkan mandat secara langsung dari Pemerintah untuk berperan serta dalam mensukseskan program ketahanan pangan yang telah dicanangkan sebagai salah satu prioritas pembangunan nasional Indonesia. Dengan mempertimbangkan faktor geografis dan efisiensi anggaran negara, pemanfaatan teknologi satelit penginderaan jauh untuk memantau kondisi ketahanan pangan merupakan sebuah pilihan yang tepat. IPB memiliki pengalaman yang baik dalam pengolahan dan pemanfaatan data penginderaan jauh yang diperoleh dari data satelit asing, baik pada sistem pasif (optik) maupun sistem aktif (*Synthetic Aperture Radar*).

Kolaborasi antara kemampuan LAPAN dalam perancangan dan pengembangan satelit secara mandiri dan kemampuan IPB dalam pengolahan dan pemanfaatan data penginderaan jauh akan menghasilkan kemandirian Indonesia dalam pengembangan dan pemanfaatan satelit penginderaan jauh untuk mendukung program ketahanan pangan nasional.

Tujuan penelitian ini adalah :

- (1) Melakukan studi simulasi pemanfaatan data LAPAN Orari Satellite (LOSAT) dan pengembangannya untuk menetapkan spesifikasi *payload* satelit yang dibutuhkan dalam menunjang program ketahanan pangan nasional dan mampu dibuat/dirakit sendiri di dalam negeri.
- (2) Menganalisis dan mengevaluasi rancangan pengembangan (*roadmap*) LISAT yang dibagi ke dalam empat tahapan yakni tahap konstruksi, peluncuran (*launch*), *commissioning*, dan pemanfaatan (*utility*) untuk mendukung program Ketahanan Pangan Nasional.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa laboratorium di lingkungan IPB dan LAPAN Rancabungur Bogor, selama 1 (satu) tahun anggaran terhitung 23 Maret – 28 Nopember 2010. Penelitian lapangan utama dilakukan berkoordinasi dengan tim peneliti padi lainnya, dengan mengambil lokasi pengamatan di wilayah Cikarawang, Bogor Barat serta di Pantai Utara Kabupaten Subang.

Kedua lokasi ini dipilih berdasarkan produktivitasnya yang cukup tinggi di wilayah Sentra (Subang) dan Non Sentra (Bogor) Padi Nasional. Kedua lokasi tersebut juga menjadi calon percobaan *imager* LOSAT yang akan dilaksanakan pada bulan Oktober-November 2010.

Selain wilayah studi lapangan utama, tim juga telah bekerjasama dengan P4W-IPB dalam menetapkan lokasi pengamatan untuk aspek perkebunan di Cot Girek, Aceh Utara. Tim telah mengumpulkan informasi lapangan yang akan

digunakan dalam studi simulasi pemetaan wilayah perkebunan, khususnya karet dan kelapa sawit. Secara umum lokasi studi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi pengamatan dan analisis

Alat dan Bahan Penelitian

Sarana dan prasarana dasar yang digunakan dalam penelitian umumnya telah tersedia di berbagai laboratorium antara lain Laboratorium Penginderaan Jauh dan Informasi Spasial (DITSIL) dan Depertemen Statistika IPB. Perangkat pengolahan data terdiri dari seperangkat komputer dengan piranti lunak analisis citra yang dilengkapi dengan satu perangkat lunak pengompilasi bila diperlukan penulisan program atau *script*.

Bahan penelitian utama pada kegiatan ini adalah seperangkat data Landsat sebagai bahan utama simulasi. Untuk mendukung simulasi yang lebih kompleks, tiga *scene* data hyperspectral Hyperion juga telah dikumpulkan, terutama untuk studi analisis spektrum penciri masing-masing jenis tutupan dan kondisi tutupan.

Metode Penelitian

Simulasi merupakan kegiatan utama dalam penelitian ini. Hal ini dimaksudkan untuk mengkaji potensi data penginderaan jauh LOSAT untuk berbagai masalah ketahanan pangan dan lingkungan sekitarnya. Sampai saat ini, tiga kelompok aplikasi ketahanan pangan telah berhasil diidentifikasi, yaitu padi,

perkebunan dan perikanan budidaya (tambak). Aplikasi pemantauan padi telah dimulai pada penelitian PUI sebelumnya (2009).

Simulasi LOSAT pada budidaya tambak telah dilakukan, mengambil lokasi studi pada wilayah pantai timur Lampung, sedangkan aspek perkebunan mengambil lokasi di Perkebunan Cot Girek, Aceh Utara. Simulasi dilakukan dengan melakukan pengamatan dari basis data Landsat yang ada. Setelah pemilihan kesesuaian tema simulasi, maka prosedur simulasi dilakukan dengan pengubahan cakupan piksel (*superresolution*). Untuk memudahkan pengamatan dan pelacakan bila diperlukan, data simulasi dikoreksi geometri sesuai standar peta Bakosurtanal yang ada (Universal Transverse Mercator pada sistem WGS 1984). Koreksi haze hanya dilakukan bila diperlukan, dalam hal ini pada lokasi Aceh Utara.

Analisis data diawali dengan pengkajian nilai digital (DN) dari citra simulator pada seluruh tutupan lahan (dan kondisinya) yang dominan pada lokasi yang telah ditetapkan. Pada tahapan ini, analisis diarahkan dengan membangun histogram contoh masing-masing kelas sehingga dapat dipelajari variasi spektral antar tutupan dan kondisinya. Analisis tersebut dapat dikategorikan dalam analisis kualitatif, sehingga diperlukan analisis lain yang lebih bersifat kuantitatif. Pada penelitian ini, jarak Jeffries-Matusita (J-M Distance) digunakan untuk menghitung variasi kedekatan spektral antar kelas tutupan lahan.

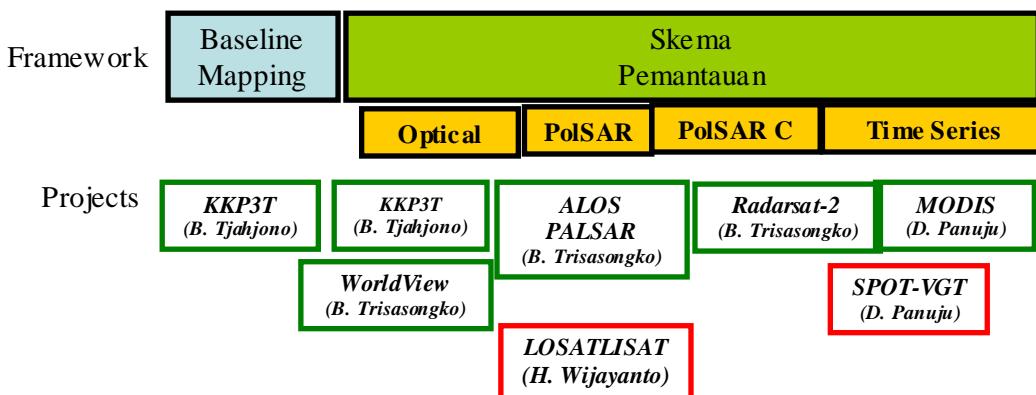
Pengetahuan yang dibangun pada analisis awal, digunakan sebagai informasi apriori terhadap analisis berikutnya yaitu klasifikasi sebagai upaya pemetaan kondisi wilayah studi. Pada kegiatan ini berbagai pendekatan dapat diujicobakan. Namun demikian, fokus utama klasifikasi akan diarahkan pada metode-metode pohon keputusan (*decision trees*).

Seluruh skema di atas melibatkan skema band LOSAT yaitu 3 kanal ekuivalen terhadap band 2, 3 dan 4 dari Landsat TM. Mengingat jumlah kanal LISAT diharapkan berjumlah 4, maka diperlukan analisis tambahan kanal yang paling berhasilguna. Untuk itu diperlukan data hyperspectral yang dapat dimanfaatkan untuk mencari kanal yang diperlukan. Pada kajian ini, sebagai

langkah awal akan digunakan data hyperspectral dari satelit EO-1 yaitu Hyperion yang memiliki 242 kanal dari 355,6 sampai 2577,1 mikron.

Desain penelitian

Penelitian ini merupakan satu dari seri penelitian yang dilakukan untuk menunjang keterlibatan IPB dalam sistem penginderaan jauh Indonesia, utamanya pada penyediaan informasi dasar ketahanan pangan. Gambar 2 menyajikan desain penelitian secara umum dalam pembelajaran aplikasi sensor penginderaan jauh dalam ketahanan pangan.



Gambar 2. Desain Kegiatan Penelitian Ketahanan Pangan

Terlihat pada gambar di atas, bahwa berbagai sensor penginderaan jauh, baik sensor pasif (optik) maupun aktif (radar) telah mulai diteliti untuk penyediaan informasi lahan pertanian. Secara umum tim peneliti IPB telah berperan aktif dalam pemanfaatan data dari vendor asing. Seperti dijelaskan pada bagian pendahuluan, pembangunan kemandirian Indonesia dalam bidang penginderaan jauh perlu terus dikembangkan. Pemandirian ini juga ditunjang oleh keberhasilan alih teknologi *space and ground segments* dari TU Berlin ke PUSTEKELEGAN LAPAN dan keberlanjutan program satelit LAPAN. Upaya LAPAN ini perlu ditunjang oleh optimalisasi pemanfaatan data (*application segment*) dari data LOSAT dan LISAT pada masa mendatang. Upaya ini dimulai dengan perumusan roadmap LISAT dan dimulainya simulasi data LOSAT secara

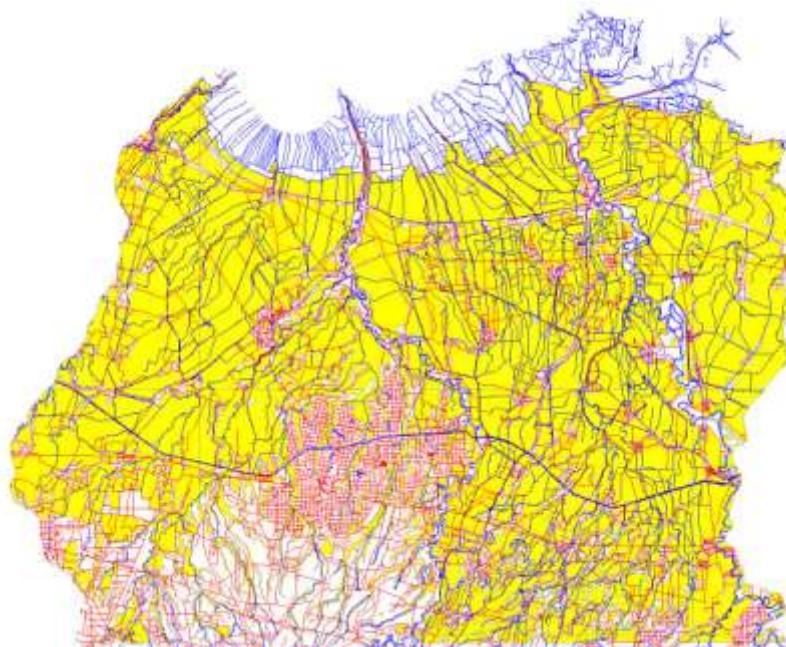
terbatas sebagai awal pengembangan LISAT. Kegiatan ini telah dilakukan pada tahun 2009 pada skema PUI-IPB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi Pertanian Sawah

Pembandingan LOSAT dan LISAT pada jenis aplikasi pemantauan lahan sawah telah dilakukan pada situs penelitian Pantura Subang. Kegiatan pertama yang dimulai adalah dengan pembangunan basis data dasar sawah seperti tersaji pada Gambar 3.

Cakupan *baseline* selain menjadi patokan dasar bagi simulasi data LOSAT dan LISAT, juga dapat dimanfaatkan oleh tim PUSTEKLEGAN/IPB sebagai petunjuk awal perencanaan terbang (*flight plan*). Fungsi pertama dimaksudkan sebagai upaya simulasi di laboratorium terhadap mekanisme pemantauan. Sedangkan simulasi riil akan dilakukan dengan data akuisisi udara yang direncanakan pada bulan Oktober, bekerjasama dengan tim udara Pusteklegan LAPAN.



Gambar 3. Peta sawah baku, wilayah Pantura, Kabupaten Subang

Pemantauan sawah merupakan salah satu target utama dalam pembangunan sistem satelit LOSAT dan LISAT. Untuk menunjang estimasi kapabilitas dari sensor, maka simulasi perlu dilakukan dengan memanfaatkan berbagai data eksisting yang memiliki spesifikasi yang mirip, diantaranya adalah Landsat dan DMC. Upaya simulasi data LOSAT untuk pemantauan sawah telah mulai dilakukan dan telah didiseminasi ke publik (Trisasonko et al., 2006, 2007, 2008, 2009a, 2009b).

Dari simulasi yang dilakukan pada wilayah Kabupaten Karawang, diperoleh pemahaman bahwa data LOSAT memiliki kapabilitas yang cukup baik dalam memisahkan beberapa fase produksi padi, utamanya generatif (siap panen) dan bera basah (awal musim tanam). Dari simulasi tersebut, juga diperoleh indikasi bahwa metodologi analisis data memegang peranan cukup penting. Pada kedua eksperimen tersebut, analisis data berbasis statistika telah diujicoba, utamanya memanfaatkan algoritma pohon keputusan (*statistical trees*).

Dengan menggunakan wilayah Subang sebagai wilayah studi, percobaan tambahan sebagai pembanding telah dilakukan pada penelitian ini. Pada penelitian ini, pengujian pertama dilakukan pada analisis keterpisahan spektral, menggunakan metode Transformed Divergence. Hasil yang diperoleh disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Keterpisahan spektral antar fase pertumbuhan sawah

	bera	bera-basah	vegetatif	generatif
Bera	-	1.99992880	2.00000000	2.00000000
bera-basah	-	-	2.00000000	1.99997157
vegetatif	-	-	-	1.99986891
generatif	-	-	-	-

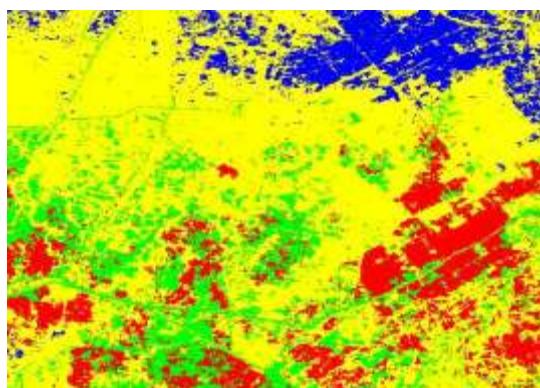
Tabel di atas menunjukkan bahwa secara keseluruhan, data LOSAT memiliki peluang yang baik dalam menyediakan kombinasi citra yang dibutuhkan dalam pemantauan padi, terutama akhir dan awal musim tanam. Beberapa kombinasi kelas dapat dipisahkan dengan sempurna, yang ditandai dengan nilai 2.0. Kelas bera dan bera basah agak tercampur pada kasus ini. Hal ini dapat dipahami dari kondisi di lapangan bahwa lahan SHS secara terus menerus

ditanami dengan masa jeda (bera) yang singkat. Pada masa bera, kondisi tanah masih tetap basah mengingat lahan segera memasuki masa tanam baru, dan mengingat ketersediaan air yang cukup, lahan yang diberakan masih tetap basah (Gambar 4). Keterpisahan paling rendah terdapat pada kombinasi kelas vegetatif dan generatif. Hal ini cukup beralasan mengingat kedua kelas cenderung lebih sulit dibedakan dengan spesifikasi sensor LOSAT.



Gambar 4. Kondisi bera di lokasi studi

Informasi yang diperoleh di atas selanjutnya diujikan pada metode klasifikasi numerik untuk memperoleh peta tematik. Secara umum, hasil yang diperoleh menggunakan algoritma pohon keputusan cukup memuaskan dengan akurasi yang cukup tinggi (Tabel 3). Peta tematik hasil klasifikasi berbasis pohon keputusan disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta tematik fase pertumbuhan padi

Tabel 3. Akurasi pohon keputusan QUEST. Akurasi total adalah 95%.

	bera	bera-basah	vegetatif	generatif
Bera	99.36	22.73	0	0
bera-basah	0	76.14	0	0
vegetatif	0	0	98.89	0
generatif	0.64	1.14	1.11	100

Pada penelitian ini, teknik analisis juga diarahkan pada basis spektral, sebagai komplemen dari analisis berbasis statistika. Pendekatan analisis yang digunakan adalah Spectral Angle Mapper (SAM), dengan variasi maksimum sudut 0.1 dan 0.2 radian. Teknik SAM telah banyak dimanfaatkan pada berbagai data penginderaan jauh optik. Namun demikian, percobaan pada data satelit mikro yang memiliki keterbatasan spektral masih sangat terbatas. Kontribusi penelitian ini adalah membangun pemahaman implementasi SAM pada aplikasi pemantauan fase pertumbuhan padi di wilayah tropika.

Mengingat SAM menggunakan pendekatan terbimbing, maka pengambilan contoh menjadi salah satu aspek yang penting menjadi perhatian. Pada kajian ini, proses pengambilan contoh dilakukan dalam 2 tahapan. Tahap pertama dilakukan untuk mengambil contoh untuk keperluan *training* algoritma SAM. Sedangkan tahapan pengambilan contoh kedua dilakukan sebagai upaya pengurangan bias klasifikasi, yaitu dengan pengambilan himpunan contoh pada lokasi yang berlainan untuk pengujian algoritma (*testing*). Namun demikian, pada laporan ini, proses *balancing* contoh belum dapat dilakukan.

Secara keseluruhan, LISAT memberikan akurasi yang sedikit lebih baik dibandingkan LOSAT. Dapat dikatakan bahwa, band biru masih dapat memberikan sumbangan dalam pemecahan masalah walaupun hal ini dibuktikan kurang signifikan.

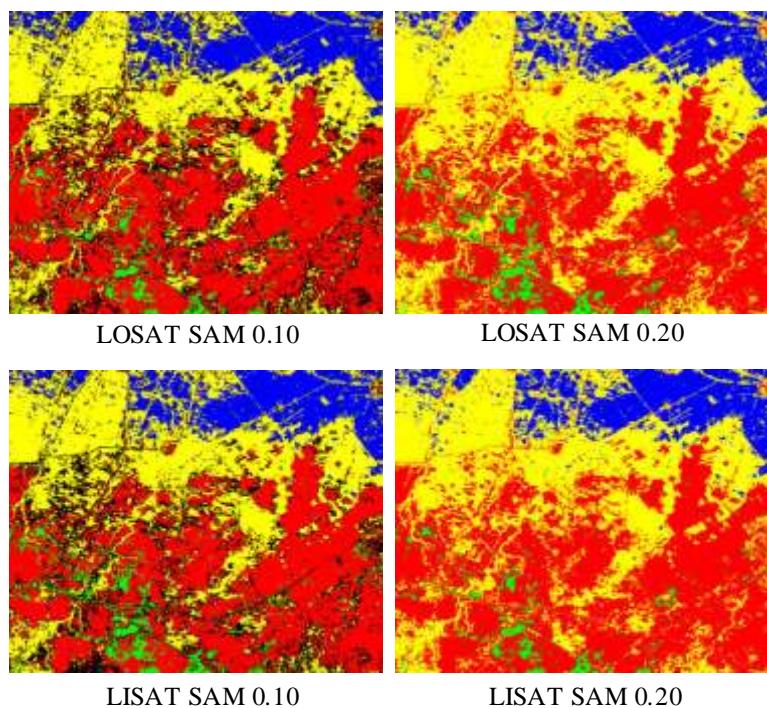
Aplikasi Pemantauan Pesisir dan Tambak

Wilayah pesisir merupakan salah satu komponen penting di Indonesia mengingat Indonesia merupakan wilayah kepulauan. Pesisir merupakan wilayah penting bagi aspek ketahanan pangan yaitu menyediakan informasi aktivitas

tambak di wilayah tersebut. Dengan demikian, percobaan pemanfaatan satelit ketahanan pangan sangat penting dilaksanakan di wilayah pesisir, utamanya dalam mendekripsi tambak yang aktif (berair).

Simulasi pemanfaatan data LOSAT untuk pemantauan pesisir secara umum dan pemantauan tambak secara khusus telah dilaksanakan, mengambil lokasi contoh di pesisir Lampung Timur. Hasil analisis menggunakan algoritma pohon keputusan (decision trees) menunjukkan bahwa data LOSAT cukup mampu menyajikan peta tematik yang diharapkan. Hasil lengkap menggunakan teknik analisis tersebut telah dipublikasikan dalam bentuk bab buku yang tersaji pada Lampiran.

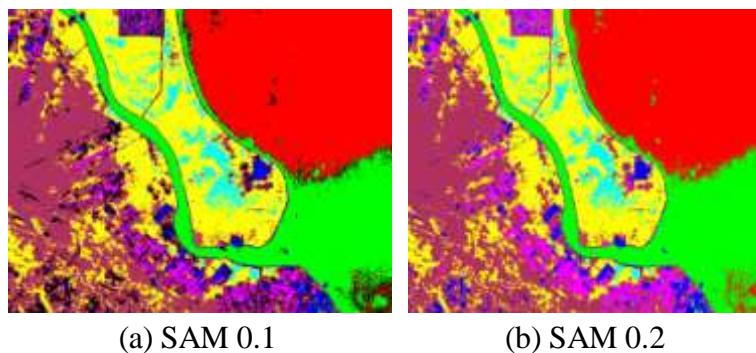
Tambahan analisis diperlukan untuk mengkaji pendekatan ekstraksi tematik berdasarkan spektrum panjang gelombang yang digunakan oleh LOSAT.



Keterangan warna:

Merah = bera; Hijau = bera basah (mulai musim tanam); Biru = vegetatif;
Kuning = generatif (bunting)

Gambar 6. Hasil pemetaan memanfaatkan algoritma SAM



Gambar 7. Perbandingan peta tematik hasil SAM

Pada penelitian ini, pendekatan yang digunakan adalah analisis SAM seperti yang telah diujicobakan pada bidang aplikasi padi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa SAM juga berhasil memberikan akurasi tematik yang baik yaitu sekitar 95% menggunakan data testing yang dikumpulkan secara terpisah. Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan peta tematik hasil analisis SAM. Gambar tersebut menunjukkan adanya konsistensi bahwa SAM pada batas 0.2 radian menghasilkan produk yang lebih baik, konsisten dengan hasil terdahulu pada pemantauan padi.

Hasil pengamatan akurasi menunjukkan bahwa akurasi total pada SAM 0.2 radian sedikit lebih baik dibandingkan dengan SAM 0.1 radian. Berbagai jenis tutupan lahan yang dapat dipisahkan dengan baik adalah kelas laut, sedimen, mangrove rusak dan semak. Misklasifikasi penting yang menyebabkan penurunan akurasi yang signifikan adalah pada kelas tambak kering yang terlihat tercampur dengan sedimen.

Aplikasi Pemantauan Perkebunan

Analisis spektral pendahuluan sangat bermanfaat dalam mempelajari karakteristik penutupan lahan, dalam hal ini tiga komoditas utama perkebunan, yaitu kakao, karet dan kelapa sawit. Informasi awal dari analisis spektral dapat dimulai dengan ekstraksi nilai piksel (*digital number*). Ekstraksi ini dipandu oleh data lapangan yang telah dikumpulkan pada kegiatan sebelumnya.

Jumlah piksel yang dikumpulkan dari kegiatan pengumpulan data lapangan adalah 300 piksel, kecuali pada komoditas kakao yaitu sebanyak 25 piksel. Kondisi diakibatkan oleh kondisi lapangan yang menunjukkan bahwa komoditas kakao tidak ditanam dalam suatu blok perkebunan yang cukup luas. Sebaliknya pada wilayah Kabupaten Aceh Utara, kakao ditanam pada pekarangan rumah, sehingga ciri spasial/spektral belum dapat diperoleh dari hasil simulasi ini. Contoh foto lapangan dari penanaman kakao pada pekarangan disajikan pada Gambar 8.



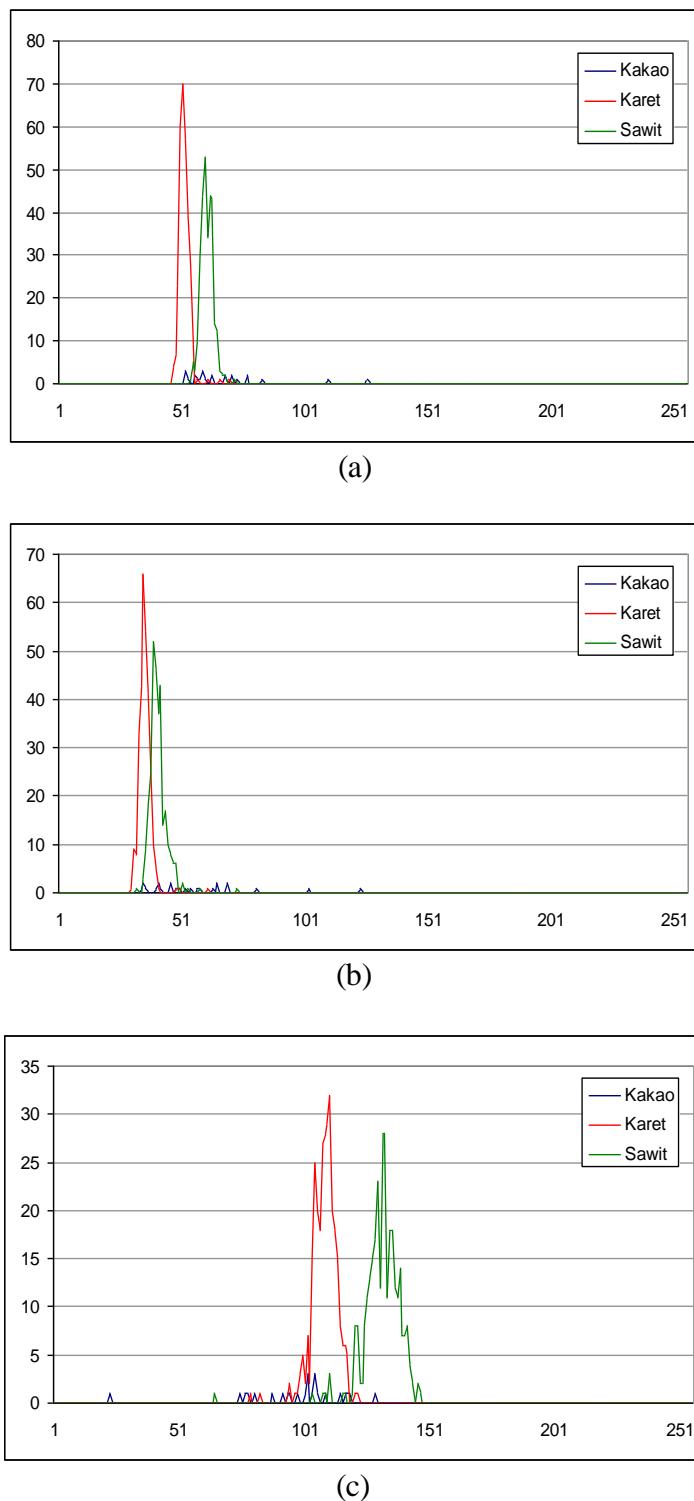
Gambar 8. Penanaman kakao di pekarangan

Terlihat bahwa penanaman kakao umumnya berasosiasi dengan permukiman atau tanaman pinang seperti terlihat pada Gambar 8. Hal ini menjadikan bahwa nilai spektral yang terekam kemungkinan besar adalah berasal dari permukiman atau tanaman pinang yang berfungsi sebagai tanaman pelindung.

Seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya, kesulitan mengidentifikasi komoditas kakao terefleksikan pada Gambar 9. Seluruh titik pengamatan yang berasosiasi dengan komoditas tersebut, tersebar dalam rentang nilai digital yang cukup lebar dan tidak terdapat pola yang khas. Sebaran ini dapat dimengerti mengingat terdapat dua asosiasi piksel yang khas, yaitu permukiman dan tanaman pinang.

Secara umum dapat disimpulkan dari Gambar 9. bahwa komoditas sawit dan karet masih dapat dipisahkan dengan cukup baik, terutama pada Band 1 dan Band 3. Terdapat ambiguitas yang cukup besar pada Band 2. Belum diperoleh penjelasan umum pada fenomena ini, mengingat kajian ini dapat dikatakan masih

dalam taraf pendahuluan. Demikian pula, belum terdapat banyak informasi sekunder (literatur) yang cukup jelas mendeskripsikan fenomena tersebut.



Gambar 9. Histogram pada Band 1 (a), Band 2 (b) dan Band 3 (c).

Mengingat ragam yang cukup kecil dan kedekatan nilai rataan pada plot Band 1, masih terdapat keraguan dalam pemanfaatan secara luas pada band tersebut. Kondisi yang lebih baik dapat ditemukan di Band 3, sehingga memungkinkan pemanfaatannya dengan lebih optimal.

Analisis spektral yang dilakukan di atas ditujukan lebih pada analisis visual pada plot histogram yang dibuat pada berbagai kanal yang tersedia. Analisis yang dilakukan tidak secara kuantitatif menjelaskan hubungan antar komoditas, utamanya menjelaskan keterpisahan antar kelas penutupan lahan. Untuk tujuan yang lebih kuantitatif, kegiatan ini memanfaatkan pendekatan Jeffries-Matusita (*Jeffries-Matusita Distance*). Jarak JM dihitung berdasarkan seluruh piksel pengamatan yang ada, dan hasil yang diperoleh disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Jarak JM pada berbagai pasangan komoditas

Pasangan Komoditas	Jarak JM
Kakao-Karet	1.48964655
Kakao-Kelapa Sawit	1.61337914
Karet-Kelapa Sawit	1.94816237

Tabel di atas mengindikasikan bahwa ketiga komoditas yang ditelaah memiliki interaksi berbeda. Karet dan Kelapa Sawit, sebagaimana terindikasi pada Gambar 8. memiliki keterpisahan kelas hampir sempurna (maksimum, 2). Mengacu pada Gambar tersebut, kontribusi terbesar berasal dari Band 3 dan semua kombinasi keterpisahan kelas yang berhubungan dengan komoditas kakao memiliki ukuran ambiguitas yang tinggi yang ditunjukkan dengan jarak JM yang cukup rendah. Walaupun keterpisahan kelapa sawit dan kakao ditunjukkan lebih baik, Gambar 8. menunjukkan ukuran keterpisahan kelas yang rendah. Dengan demikian, hal ini tidak disarankan untuk dianalisis lebih lanjut, seperti dalam klasifikasi penutupan lahan perkebunan.

KESIMPULAN

Sebagai rangkuman dari berbagai kegiatan simulasi di atas, diperoleh gambaran bahwa satelit mikro yang sedang dan yang direncanakan akan dibangun memiliki potensi yang cukup baik dalam memenuhi sebagian informasi yang

diperlukan pada beberapa aplikasi penting. Sebagai salah satu satelit mikro yang didedikasikan untuk pemantauan ketahanan pangan, spesifikasi teknis LISAT memiliki keunggulan dibandingkan generasi pendahulunya yaitu LOSAT. Secara umum, LISAT memiliki potensi yang lebih baik untuk pemetaan sawah baku, pemantauan awal tanam dan panen padi, pemetaan tambak, pemetaan lingkungan pesisir dan pemetaan perkebunan utama (karet & kelapa sawit). Namun LISAT akan sangat terbatas kemampuannya dalam aplikasi pemetaan kakao di perkebunan rakyat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini telah didanai oleh DIPA IPB, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional dengan nomor kontrak : 1/I3.24.4/SPK/PSN/2010 tertanggal 5 Maret 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). 2000. *Model Estimasi Produksi Tanaman Padi Berdasarkan Indeks Vegetasi*. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN. Jakarta. (tidak dipublikasi).
- Panuju DR, Susetyo B, Raimadoya MA. 2009. Telaah Pola Musiman Penutupan Lahan Bervegetasi dengan X12ARIMA pada NDVI SPOT VEGETATION. *Semiloka Geomatika-SAR Nasional*. Bogor, April 2009.
- Trisasongko BH, Lees B, Paull D. 2006. Polarimetric classification in a tailings deposition area at the Timika mine site, Indonesia. *Mine Water and the Environment* 25:246-250
- Trisasongko BH, Lees B, Paull D. 2007. Discrimination of scatterer responses on tailings deposition zone. *Sensing and Imaging* 8:111-120. DOI: 10.1007/s11220-007-0037-8
- Trisasongko BH. 2008. The use of polarimetric SAR data on forest disturbance monitoring. *Sensing and Imaging* (versi revisi untuk review tahap kedua).
- Trisasongko BH, Raimadoya MA, Manijo. 2009a. Pemanfaatan data SAR polarimetri untuk observasi sumberdaya lahan. *Semiloka Geomatika-SAR Nasional*. Bogor, April 2009.

Trisasonoko BH, Panuju DR, Barus B, Wijayanto H, Raimadoya MA, Irzaman.
2009b. Rice monitoring using simulated LOSAT data. Naskah publikasi
(ITB Journal of Engineering Science).

Wijayanto, H, Fauzi, A.M, Irzaman, Hardhienata, H, Arief A. *Pembuatan roadmap dan penelitian pendahuluam dalam usaha penopang peluncuran satelit LAPAN IPB SAT tahun 2012 untuk ketahanan pangan nasional.* Laporan kegiatan peneilitan strategis unggulan IPB, Direktorat jendral pendidikan tinggi, Depdiknas, 2009.

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI AKUSTIK BAWAH AIR DALAM
EKSPLORASI DAN KUANTIFIKASI STOK IKAN UNTUK
PEMANFAATAN SUMBERDAYA PANGAN KELAUTAN
I. Pengukuran *Target Strength* Ikan dalam kondisi terkontrol**

(Development of Underwater Acoustic Technology in Exploration and Quantification of Fish Stock for Marine Food Resources Utilization Fish Target Strength Measurement)

Henry M. Manik¹⁾, Faisal Ahmad¹⁾

¹⁾Dep. Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB

ABSTRAK

Dalam kuantifikasi densitas atau stok ikan dengan menggunakan metode akustik bawah air, harus dilakukan pengukuran target strength ikan yang bersangkutan. Penelitian ini ditujukan untuk mengukur, memproses dan menganalisis target strength dari tiga ikan menggunakan frekuensi 200 kHz. Dalam pengukuran ini, digunakan metode terkontrol dan untuk kalibrasi digunakan reference target berupa steel ball. Semua pengukuran dilaksanakan di dalam kolam water tank Laboratorium Akustik Kelautan. Target strength yang diperoleh adalah fungsi dari sudut kemiringan tubuh ikan (*tilt angle*). Dari masing-masing fungsi target strength, dilakukan perhitungan nilai rata-rata dorsal aspect target strength. Proses perata-rataan dilakukan dengan memasukkan parameter tilt angle. Hasil analisis regresi terdapat hubungan linear antara nilai target strength dan panjang ikan. Untuk verifikasi terhadap metode dan hasil penelitian ini, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan yaitu pengukuran in situ target strength dan pengamatan tingkah laku ikan yang sebenarnya di laut.

Kata kunci : Akustik bawah air, target strength, tilt angle.

ABSTRACT

In the quantification of density or fish stock using underwater acoustic methods, should be measured target strength of fish concerned. This study aimed to measure, process and analyze the target strength of three fish using acoustic frequency of 200 kHz. In this measurement, we used the controlled method to calibrate the reference target of sphere ball. All measurements were carried out in the water tank of Marine Acoustics Laboratory, Department of Marine Science and Technology Bogor Agricultural University. The target strength obtained is a function of the angle of fish body (*tilt angle*). From each target strength function, we calculated the average value of the dorsal aspect target strength. Target Strength computation is done by using the average tilt angle parameters. Regression analysis found a linear relationship between the value of the target strength and fish length. To verify the method and the results of this study, it is necessary to further study the in situ target strength measurements and observations of fish behavior to get the actual fish stocks.

Keywords : Underwater acoustic, fish target strength, tilt angle.

PENDAHULUAN

Perairan laut Indonesia mempunyai sumberdaya ikan yang berlimpah. Sumberdaya ikan tersebut merupakan modal utama untuk pemenuhan kebutuhan

pangan dan gizi, peningkatan volume perdagangan, perluasan kesempatan kerja yang akan meningkatkan taraf hidup masyarakat nelayan.

Untuk pemanfaatan sumberdaya ikan tersebut, perlu didukung oleh kegiatan penelitian dan pengembangan IPTEK akustik kelautan untuk perhitungan potensi dan metode pemanfaatan yang sesuai, efektif, efisien dan tetap melestarikan sumberdaya dan lingkungan. Dengan kegiatan penelitian dan pengembangan IPTEK, maka akan diperoleh data dan informasi yang akan sangat menunjang perencanaan dan pelaksanaan pembangunan kelautan secara komprehensif.

Mengingat perairan laut Indonesia yang luas dan dilain hal diperlukan kecepatan perolehan data, maka metode akustik bawah air merupakan salah satu alternatif utama yang harus dikembangkan. Metode ini memiliki keunggulan sebagai berikut : dapat meliput perairan yang sangat luas untuk disurvei, hasil survei dapat diperoleh secepat mungkin, mudah dan murah untuk melakukannya, ketelitian dan ketepatan sangat tinggi dan tidak merusak kelestarian sumberdaya dan lingkungan. Hingga saat ini belum ada penelitian dasar yang dilakukan di Indonesia, untuk menunjang pengembangan metode akustik bawah air, khususnya dalam eksplorasi dan kuantifikasi stok sumberdaya hayati laut secara kontinu.

Kuantifikasi stok ikan dengan metode akustik bawah air pada prinsipnya dikelompokkan menjadi dua yaitu metode *echo counting* dan metode *echo integration*. Dalam kedua metode tersebut, faktor terpenting yang harus diketahui adalah *target strength*. Pada metode *echo counting*, nilai *target strength* digunakan untuk penentuan volume sampel perairan yang disurvei, dan pada metode echo integrasi digunakan untuk menghitung stok ikan dengan menghitung *volume backscattering strength* (SV). Dengan mengetahui nilai *target strength* atau *backscattering* rata-rata dari populasi ikan (ρ) dapat dihitung dengan formula: $\rho = EI / (C \times TS)$ di mana *EI* adalah *output echo integrator*, *C* adalah parameter instrumentasi yang dapat diukur dengan kalibrasi.

Nilai *Target Strength* (TS) dapat juga digunakan untuk menduga panjang ikan yang diukur, menduga spesies berdasarkan karakteristik nilai target strength yang dinormalisasikan dengan panjang ikan dan berguna dalam perancangan instrument akustik seperti sonar, echosounder dan peralatan akustik lainnya.

Pengukuran TS bisa dilakukan dalam kondisi terkontrol di laboratorium (*controlled condition*) atau dalam kondisi yang sebenarnya di laut (*in situ conditions*). Pengukuran dalam kondisi terkontrol masih tetap penting dan tidak kalah penting dibandingkan dengan pengukuran di laut jika orientasi ikan di laut (*tilt angle*) diketahui. Dengan demikian untuk memperoleh hasil penelitian dengan ketelitian dan ketepatan tinggi, terlebih dahulu dilakukan penelitian dalam kondisi terkontrol, kemudian diverifikasi dengan penelitian *in situ*. Untuk penelitian *in situ* memerlukan instrumen yang canggih yang sampai saat ini masih terbatas jumlahnya di Indonesia sehingga untuk saat ini akan dimulai dari penelitian dalam kondisi terkontrol menggunakan ikan air tawar.

Dalam penelitian dengan kondisi terkontrol, TS ikan diukur dengan instrument fish finder dengan pengukuran dorsal aspect dari ikan mati dengan sebaran sudut kemiringan (*tilt angle*) yang mencerminkan keadaan yang sebenarnya.

Sampai saat ini, penelitian target strength ikan air tawar seperti nila, mas, dan lele belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, sebagai langkah awal, penelitian dalam kondisi terkontrol sangat penting untuk dilakukan untuk mengungkap faktor-faktor dominan yang mempengaruhi nilai dan karakteristik target strengthnya.

Penelitian ini bertujuan untuk Mengukur *Target Strength Ikan Mas* (*Cyprinus carpio*), *Ikan Nila Hitam* (*Oreochromis niloticus*), *Ikan Lele* (*Clarias sp*) dalam kondisi terkontrol Secara khusus tujuan penelitian adalah mengukur nilai target strength ikan dan melihat pengaruh spesies, panjang dan tingkah laku ikan terhadap nilai rata-rata target strength.

METODE PENELITIAN

Alat

Penelitian target strength dalam kondisi terkontrol menggunakan ikan hidup dan diaklimatisasi. Selain ikan sebagai target, dalam pengukuran digunakan “*reference target*” yaitu sphere ball berdiameter 6.0 cm untuk kalibrasi sistem pengukuran dan kuantifikasi nilai target strength ikan yang bersangkutan.

Peralatan yang dipergunakan adalah platform, instrumen akustik bawah air, transducer, tilting apparatus/mechanism, osiloskop, stabilizer, sinar x, kamera, data sheet, alat pengukur panjang dan berat ikan.

Metode Pengukuran/Perolehan Data

Pada sistem pengukuran diperoleh data target strength mulai dari tilt angle -40° sampai dengan + 40° yang disimbolkan dengan $TS(\theta) = f(\theta)$.

Pemrosesan Data

Dengan diperolehnya fungsi target strength untuk setiap spesies dan ukuran, maka tahap selanjutnya adalah menghitung nilai target strength dengan menggunakan asumsi orientasi ikan tertentu yang dapat mencerminkan keadaan yang sebenarnya di laut. Tingkah laku renang ikan sangat kompleks karena ikan berenang dalam 3 dimensi dalam arah *pitching*, *rolling* dan *yawing*. Berdasarkan Furusawa, 1994 faktor yang sangat menentukan orientasi ikan adalah *tilt angle*. Dengan demikian, untuk memudahkan mempelajari pengaruh tingkah laku ikan terhadap nilai rata-rata target strengthnya maka hanya nilai *tilt angle* yang diperhitungkan.

Sistem pemrosesan data fungsi target strength untuk mendapatkan nilai rata-rata dengan menggunakan asumsi tingkah laku ikan. $TS(\theta)$ dalam satuan decibel dikonversi ke dalam bentuk *backscattering cross section* (σ) dalam satuan m^2 dengan formula : $\sigma = 4\pi \cdot 10 (TS(\theta))^{10}$, kemudian dirata-ratakan.

Pengambilan data menggunakan *tilting mechanism system* dan *echosounder* selama 15 menit tiap perubahan sudut sebesar 5° sampai ikan tersebut berada pada posisi vertikal dimana kepala menghadap keatas untuk sudut positip dan kepala menghadap kebawah untuk sudut negatif yaitu dari -40° sampai 40° untuk ikan mas dan nila serta -25° sampai 25° untuk ikan lele. Data ikan tunggal diambil selama 15 menit untuk setiap perlakuan sudutnya.

Untuk pengolahan data ikan kelompok, data output hasil pantulan yang bereksistensi (*.I) selanjutnya di *export* ke Microsoft Excel 2007 untuk dirapihkan dan dicari nilai amplitudonya saja, setelah itu dilakukan pengolahan data kembali

dengan matlab untuk membuat grafik dari *Amplitudo*, *Amplitudo Relatif* dan *Echo Strength*. Nilai amplitudo dicari dengan menggunakan persamaan (1), *Amplitudo relatif* (2), dan *Echo Strength* (3) (Manik, 2010)

$$A_{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k x_{(i,j)}}{k} \quad (1)$$

$$a_{(i)} = \frac{A_{(i)}}{255} \quad (2)$$

$$ES_{(i)} = 10 \log(a_{(i)}) \quad (3)$$

di mana :

$A_{(i)}$ = Amplitudo pada ping ke-i

$X_{(i,j)}$ = Nilai pantulan ke-j sampai k pada ping ke-i

k = Total pantulan

$a_{(i)}$ = Amplitudo relatif pada ping ke-i

$ES_{(i)}$ = Nilai *Echo Strength* pada ping ke-i

Data yang di dapat dalam pengukuran adalah voltase amplitudo setiap perlakuan di mana sudut pada ikan ($V_{fish}(\theta)$), Voltase pada alat (V_{ref}) dan nilai bandul pejal (TS_{ref}) dimana:

$$TS_{ref} = 20 \log \frac{V_{ref}}{V_{bandul}} \quad (4)$$

dimana V_{bandul} merupakan nilai voltase amplitudo dari bandul pejal

Selanjutnya, dari input data yang di dapat, maka nilai dari *Target Strength* ikan pada setiap sudut yang berbeda (TS_θ) dapat dicari.

$$TS_\theta = 20 \log \frac{V_{fish}(\theta)}{V_{ref}} + TS_{ref} \quad (5)$$

dan *backscattering section* (σ_θ)

$$\sigma(\theta) = 10^{TS(\theta)/10} \quad (6)$$

Untuk mengetahui hubungan antara *target strength* dengan panjang ikan maka *target strength* rata-rata (TS) yaitu

$$\langle TS \rangle = 10 \log \left| \frac{(\sigma)}{4\pi} \right| \quad . \quad (7)$$

dengan *backscattering section rata-rata* (σ) adalah

$$\langle \sigma \rangle = \frac{\int_{-40}^{+40} f(\theta) \sigma(\theta) d\theta}{\int_{-40}^{+40} f(\theta) d\theta} \quad (8)$$

TS dan σ merupakan nilai pantulan keseluruhan dari ikan melalui pendekatan peluang secara statistik dengan menggunakan rumus dari *Probability Density Function* (PDF) dalam hal ini dilambangkan f_θ .

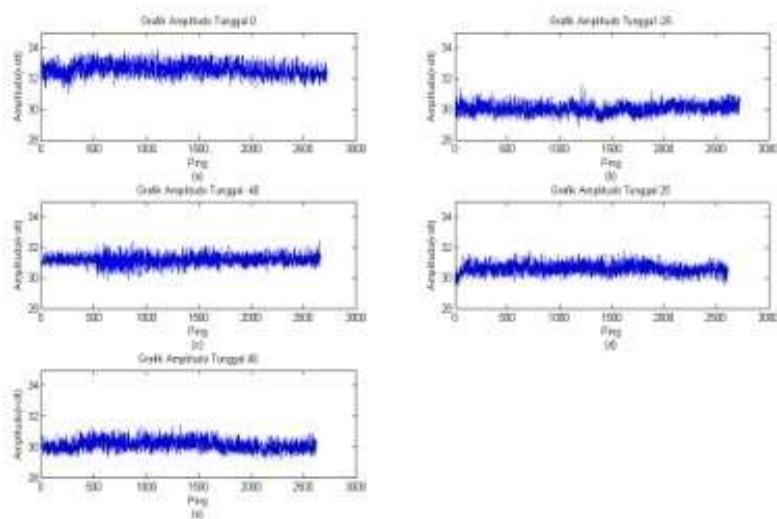
$$f(\theta) = \frac{1}{S_\theta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta-\bar{\theta}}{S_\theta}\right)^2} \quad (9)$$

Karena melalui pendekatan statistik maka ada syarat yang perlu di penuhi yaitu nilai dari hasil pengurangan sudut ikan dengan rata-ratanya harus kurang atau sama dengan dari nilai simpangan bakunya, jika syarat ini tidak dipenuhi maka nilai $f_\theta = 0$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Refleksi dari *Ikan Mas (Cyprinus carpio)*

Gambar 1 merupakan nilai *Amplitudo voltase*, *Echo Strength*, dan *Target Strength* dari *Ikan Mas (Cyprinus carpio)*

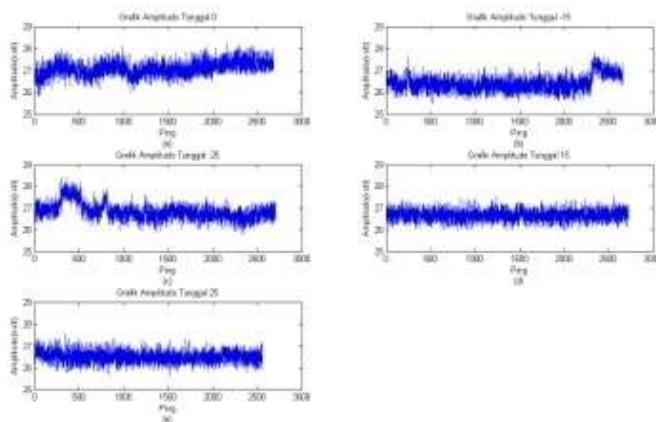


Gambar 1. Karakteristik pada *Ikan Mas (Cyprinus carpio)* dengan *Fork Length* 20 cm(a) Nilai *Amplitudo Voltase* (b) Nilai *Echo Strength*

Pada *Ikan Mas* sudut yang ditampilkan hasilnya adalah sudut 0° , 25° , -25° , 40° , -40° . posisi semula (0°) amplitudo berkisar antara 31-34 volt, posisi 25° amplitudo berkisar antara 29.5-31.5 volt, posisi -25° berkisar antara 29-31.5 volt, posisi 40° berkisar antara 29-31 volt dan pada posisi -40° berkisar antara 30-32.5 volt. Untuk *Echo Strength* pada posisi semula (0°) berkisar antara -18.2 dB sampai -17.5 dB, posisi 25° berkisar antara -18.5 dB sampai -18 dB, posisi -25° berkisar antara -18.5 dB sampai -18 dB, posisi 40° berkisar antara -18.7 dB sampai -18.2 dB dan pada posisi -40° berkisar antara -18.5 dB sampai -18 dB.

Karakteristik Refleksi dari *Ikan Lele* (*Clarias sp*)

Gambar 2 merupakan nilai *Amplitudo voltase*, *Echo Strength*, dan *Target Strength* dari *Ikan Lele* (*Clarias sp*)

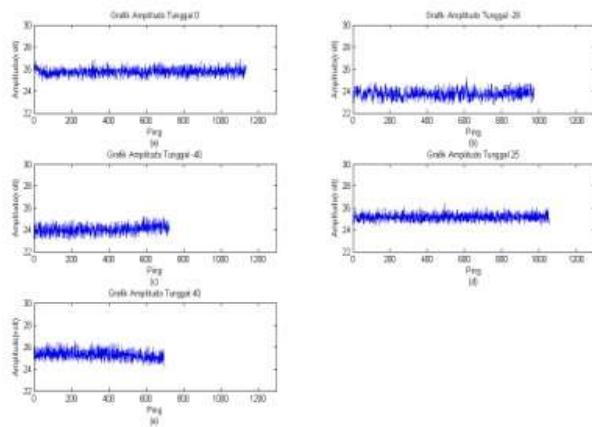


Gambar 2. Karakteristik pada *Ikan Lele* (*Clarias sp*) dengan *Fork Length* = 24 cm (a) Nilai *Amplitudo Voltase* (b) Nilai *Echo Strength*

Pada *Ikan Lele* sudut yang ditampilkan adalah 0° , 15° , -15° , 25° , -25° pada posisi semula (0°) amplitudo berkisar antara 26-28 volt, posisi 15° amplitudo berkisar antara 26-27.5 volt, posisi -15° berkisar antara 26-27 volt, posisi 25° berkisar antara 26-28 volt dan pada posisi -25° berkisar antara 26-27 volt. Untuk *Echo Strength* pada posisi semula (0°) berkisar antara -19.7 dB sampai -19.2 dB, posisi 15° berkisar antara -19.8 dB sampai -19.5 dB, posisi -15° berkisar antara -20 dB sampai -19.5 dB, posisi 25° berkisar antara -20 dB sampai -19.5 dB dan pada posisi -25° berkisar antara -19.7 dB sampai -19.3 dB.

Karakteristik Refleksi dari Ikan Nila Hitam (*Oreochromis niloticus*)

Gambar 3 merupakan nilai *Amplitudo voltase*, *Echo Strength*, dan *Target Strength* dan *Koefisien C* dari Ikan Nila Hitam (*Oreochromis niloticus*)



Gambar 3. Karakteristik pada *Ikan Nila Hitam* (*Oreochromis niloticus*) dengan *Fork length* 24.7 cm (a) Nilai *Amplitudo Voltase* (b) Nilai *Echo Strength*

Pada *Ikan Nila Hitam* sudut yang ditampilkan hasilnya adalah sudut 0° , 25° , -25° , 40° , -40° . Posisi semula (0°) amplitudo berkisar antara 25-27 volt, posisi 25° amplitudo berkisar antara 25-26 volt, posisi -25° berkisar antara 23-24 volt, posisi 40° berkisar antara 25-26 volt dan pada posisi -40° berkisar antara 24-25 volt. Untuk *Echo Strength* pada posisi semula (0°) berkisar antara -20.9 dB sampai -19.8 dB, posisi 25° berkisar antara -20.1 dB sampai -19.8 dB, posisi -25° berkisar antara -20.9 dB sampai -20.1 dB, posisi 40° berkisar antara -20.2 dB sampai -19.8 dB dan pada posisi -40° berkisar antara -20.8 dB sampai -20.2 dB.

Hubungan *Target Strength* dengan *Fork Length* pada *Ikan Nila Hitam* (*Oreochromis niloticus*)

Target Strength <TS> pada setiap ikan nila hitam dengan ukuran tubuh (*Fork Length*) yang berbeda-beda. <TS> dihitung dari nilai TS (θ) dari sudut -40° sampai 40° dengan menggunakan metode *Probability Density Function* (PDF) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran *Target Strength* ($\langle TS \rangle$) terhadap nilai *Target Strength* setiap sudut ($TS(\theta)$) pada *Ikan Nila Hitam*

Nilai	FL (cm)	$f(\theta)$	$\langle \sigma \rangle$	$\langle TS \rangle$
1	22	0.90495	0.0006	-43.207
2	20	0.90495	0.00046	-44.36
3	24.7	0.90495	0.00055	-43.574
4	20	0.90495	0.00042	-44.771
5	21.5	0.90495	0.00051	-43.887
6	22.2	0.90495	0.00055	-43.603
7	22	0.90495	0.00052	-43.877
8	22	0.90495	0.00053	-43.716
9	22.1	0.90495	0.00055	-43.578
10	22.1	0.90495	0.00057	-43.461

Dijelaskan bahwa $f(\theta)$ merupakan nilai PDF dari sudut θ , sedangkan $(\theta - \bar{\theta}) \leq S$ merupakan syarat dari PDF, dimana nilai sudut dikurangi rata-ratanya harus lebih kecil sama dengan nilai simpangan baku dari sudut tersebut, bila syarat ini tidak dipenuhi maka nilai $f(\theta) = 0$. Karena tiap ikan mempunyai perlakuan sudut yang sama maka nilai peluang muncul dari σ dengan batas -40° sampai 40° adalah sama yaitu $f(\theta)=0.90495$. Sehingga nilai total dari TS dan σ disajikan pada Tabel 1 diatas. Nilai TS rata-rata terbesar diperoleh dari pengukuran karakteristik refleksi dari Ikan Nila Hitam ke 1 dengan panjang badan (*Fork Length*) adalah 22 cm sedangkan untuk TS rata-rata terkecil diperoleh dari ikan Nila Hitam ke 4 dengan *Fork Length* sebesar 20 cm.

Hasil perhitungan nilai $\langle TS \rangle$ dan log FL yang dihubungkan dengan *fork length* dari ikan nila hitam, dengan nilai m dan A adalah konstan $\langle TS \rangle = m \log FL + A$ dapat diketahui dengan menggunakan model liner sederhana dimana log FL dapat kita misalkan X dan $\langle TS \rangle$ kita misalkan Y, sehingga persamaannya menjadi $Y = mX + A$ dengan menggunakan selang kepercayaan 95 % maka didapat nilai $m = 12.98602711$ dan nilai $A = -61.19109517$ dengan nilai $R^2 = 0.808$. Nilai m pada umumnya bernilai 18 sampai dengan 30 dan paling sering berada pada nilai 20 (MacLennan and Simmonds, 2005) oleh karena itu perlu dilakukan proses *normalisasi*, sehingga nilai $m = 20$ maka nilai A menjadi -70.05536

KESIMPULAN

Informasi yang diperoleh dari instrument akustik bawah air adalah voltase amplitudo, amplitudo relatif, *echo strength*, *back scattering section*, dan *target strength* dari ikan mas (*Cyprinus carpio*), ikan lele (*Clarias sp*) dan ikan nila hitam (*Oreochromis niloticus*) secara berkelompok dan tunggal memiliki nilai yang beragam diantaranya ikan mas mempunyai rentang amplitudo 25-32, *echo strength* sebesar -21 dB sampai -14 dB, ikan lele mempunyai rentang nilai amplitudo 27-32.5, *echo strength* sebesar -19.5 dB sampai -17.8 dB dan ikan nila hitam mempunyai rentang nilai amplitudo 23-28.5, *echo strength* sebesar -19.75 dB sampai -19 dB.

Pada Ikan nila *hitam* (*Oreochromis niloticus*) dengan jumlah 10 ekor dan mempunyai masing-masing ukuran tubuh (*Fork Length*) yang berbeda, mempunyai dugaan nilai *Target Strength* : $< TS > = 20 \log FL - 70.06$ dengan nilai $R^2=0.808$, semakin panjang tubuh ikan maka semakin besar nilai *target strength* nya.

DAFTAR PUSTAKA

- Gonzales, R. C. and Woods. R. 1993. Digital Image Processing. USA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Lurton, X. 2002. An Introduction to Underwater Acaoustic. Principles and Applications. Praxis Publishing Ltd. Chichester. Uk.
- MacLennan, D.N and E. J. Simmonds. 2005. *Fisheries Acoustic, 2nd edition*. Blackwell Science. Oxford. UK
- Manik, H. M. 2006. Study on Acoustic Quantification of Sea Bottom using Quantitative Echo Sounder. Ph.D Dissertataion. Graduate School of Marine Science and Technology Tokyo University of Marine Science and Technology , Tokyo Japan. 186 p
- Manik, H.M. 2010. Measuring Echo Strength of Fish and Sea Bottom using Underwater Acoustic Instrument. Prosiding Seminar Instrumentasi Berbasis Fisika. ITB. 2010.
- The Math Works Inc. 2000. MATLAB Toolbox User Guide.
- Vetterli, M and J. Kovacevic. 1995. Wavelets and Subband Coding. Englewood Cliffs. NJ : Prentice-Hall, 1995.

**PENGEMBANGAN PROSES PRODUKSI PANGAN BERBASIS
COKELAT UNTUK MENINGKATKAN MUTU
DAN DAYA SAING PRODUK**

(Development of Chocolate Based Food Production Process to Improve Product
Quality and Competitiveness)

**Hadi K Purwadaria¹⁾, Sri Mulato²⁾, Dedi Fardiaz³⁾,
GP Ganda Putra⁴⁾. Sukrisno Widjotomo²⁾**

¹⁾Dep. Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian IPB,

²⁾Puslit Kopi dan Kakao, Jember, ³⁾Dep. Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas
Teknologi Pertanian IPB, ⁴⁾Dep. Teknologi Industri Pertanian, FATETA-Udayana

ABSTRAK

Tujuan umum dari penelitian ini adalah peningkatan mutu dan daya saing melalui pengembangan proses, dan desain peralatan produksi pangan berbasis cokelat untuk diterapkan pada skala produksi kecil dan menengah. Hasil luaran program adalah 1) refermentasi biji kakao dari petani di pabrik dapat meningkatkan mutu biji kakao yang pada gilirannya akan meningkatkan mutu permen cokelat, 2) mesin pengolahan permen cokelat untuk industri kecil telah dilengkapi dengan mesin refiner, mesin conching, lemari tempering, mesin pencetak cokelat, mesin vibrator untuk melepaskan cetakan cokelat, dan mesin penyangrai bubuk cokelat, 3) semua mesin telah beroperasi secara komersial di Unit Pengolahan Kakao Jimbarwana, Kabupaten Jembrana, Bali, 4) formula permen cokelat yang telah diperbaiki dengan menggunakan bahan baku biji kakao lokal ternyata disukai oleh konsumen dan cita rasanya dinilai oleh konsumen tidak berbeda dengan cita rasa cokelat komersial yang telah ada di pasaran, 5) teknologi pengolahan permen cokelat yang meliputi mesin tersebut telah siap untuk didiseminasi ke berbagai industri kecil di berbagai wilayah Indonesia, 6) wilayah pemasaran permen cokelat telah diperluas ke luar propinsi Bali, sedangkan jenis produk telah meliputi permen cokelat dengan beragam tambahan isi yaitu, kacang mete, kismis, dan wijen, serta 7) permintaan akreditasi MD telah dilakukan setelah unit pengolahan kakao di renovasi sesuai dengan persyaratan HACCP dan GMP.

Kata kunci : Pangan berbasis cokelat, conching, pencetak cokelat, penyangrai bubuk cokelat, GMP dan HACCP.

ABSTRACT

The general objective of this program was to increase the quality and competitiveness of chocolate based food products through the development of process and machineries for small and medium industries. The outcomes were as follows 1) re-fermentation at the factory level increased the quality of cocoa bean, which in turn improved the quality of chocolate candy, 2) processing machineries for small scale chocolate candy industry had been completed with refiner, conching machine, tempering cabinet, chocolate candy molding machine, vibrator machine to remove molded chocolate, and cocoa powder roaster, 3) all machines had been in operation at the Cocoa Processing Unit of Jimbarwana, Kabupaten Jembrana, Bali, 4) the improved formula for chocolate candy using local specific cocoa bean was preferred by consumers, and its taste was not different from commercial chocolate candy, 5) the technology of chocolate candy processing consist of previously mentioned equipment was ready to be disseminated commercially for small scale industry at the whole region in Indonesia, 6) marketing area had been extended outside the province of Bali, while various ingredients had been

added to the chocolate candy such as cashew nut, raisin, and sesame, and 7) application for MD accreditation had been submitted following the renovation of the factory complied to GMP and HACCP.

Keywords : Chocolate based foods, conching, chocolate molder, cocoa powder roaster, GMP and HACCP.

PENDAHULUAN

Indonesia saat ini menjadi salah satu negara penghasil biji kakao utama di dunia dengan jumlah produksi yang diperkirakan akan terus meningkat secara nyata karena program peremajaan tanaman yang teratur dan perluasan kebun baru (Man and Man, 2004; Zaenudin dan Martadinata, 2004). Pengembangan tanaman kakao di Indonesia sampai dengan tahun 2005 telah mencapai luasan 1.167.046 ha dengan produksi sebanyak 748.828 ton biji kakao kering dengan hasil produksi 641,7 kg/ha, dan diperkirakan pada tahun 2006 akan naik menjadi 1.191.742 ha dengan produksi 779.474 ton biji kakao kering yang tersebar di 31 propinsi. Jumlah petani yang terlibat dalam usaha tani kakao mencakup 1,16 juta kepala keluarga. Pada tahun 2005, ekspor komoditi kakao mencapai nilai US \$ 664,338 juta dengan volume 463.632 ton (Ditjend Perkebunan, 2006). Pada satu sisi, peningkatan produksi tersebut memberikan kontribusi yang positif pada peningkatan pendapatan ekspor. Namun di sisi lain, suatu tindakan antisipatif perlu dilakukan untuk menghadapi fluktuasi dan penurunan harga secara drastis yang sewaktu-waktu terjadi karena kelebihan pasokan di pasaran dunia (USDA, 2000).

Man and Man (2004) menyebutkan bahwa harga kakao dunia terus berfluktuasi tajam dan cenderung rendah sejak 1984, walaupun ada sedikit titik terang akan mengalami peningkatan sebesar 4,8% pada tahun 2004 dibandingkan tahun 2003. Salah satu upaya strategi untuk mengurangi ketergantungan pasar komoditas primer di luar negeri adalah perluasan pasar melalui pendekatan diversifikasi dan pengembangan produk sekunder. Pengembangan produk sekunder kakao dinilai akan memberikan insentif ekonomis bagi negara antara lain peningkatan nilai tambah yang lebih besar pada produk-produk pertanian, peluang lapangan kerja di pedesaan, pengembangan industri terkait dan peningkatan konsumsi per kapita di dalam negeri yang saat ini masih rendah. Pengembangan produk sekunder yang mengarah ke industri antara (intermediate) atau industri hillir,

akan memberikan nilai tambah, meningkatkan mutu kakao, serta menaikkan konsumsi kakao di dalam negeri (Zaenudin, 2004). Konsumsi kakao domestik saat ini sekitar 0,05 kg/orang/tahun dan diharapkan dapat ditingkatkan menjadi 1 kg pada beberapa tahun mendatang (Zaenuddin dan Martadinata, 2000). Dengan jumlah penduduk 230 juta orang, Indonesia merupakan pangsa pasar yang besar.

Industri pangan cokelat besar umumnya didukung oleh manajemen, modal dan sumber daya manusia yang baik, dan menggunakan peralatan pengolahan dengan teknologi tinggi, tetapi mendatangkan lemak dan pasta kakao (cocoa butter, cocoa paste) impor sebagai bahan baku. Pada umumnya, industri kecil menengah masih menggunakan alat sederhana, sehingga hasilnya kurang kompetitif [ICBS, 1998]. Suatu penelitian jangka panjang tentang proses produksi lemak, pasta, dan bubuk kakao telah dilakukan oleh Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia sejak tiga tahun terakhir ini. Tujuannya adalah mencari terobosan baru untuk meningkatkan nilai tambah biji kakao dan meningkatkan konsumsi domestik pangan dan minuman cokelat. Selama ini 80% produksi kakao dieskpor dalam bentuk produk primer (biji kakao kering). Sebagian besar produk kakao rakyat merupakan biji kakao yang masuk dalam golongan mutu lokal dengan tingkat harga yang sangat rendah. Harga biji kakao asalan di tingkat petani berkisar Rp 9000/ kg atau Rp 5.775.300/ ha/tahun. Produk olahan kakao akan mempunyai nilai tambah yang lebih tinggi jika dapat diperdagangkan dalam bentuk siap konsumsi. Melalui diversifikasi produk hilir, seperti pangan berbasis cokelat, nilai tambah kakao akan meningkat dengan pesat. Selain itu, kulit biji (shell) dari proses pemecahan biji dan pemisahan kulit dapat dimanfaatkan sebagai suplemen pakan ternak, yang dibutuhkan oleh industri peternakan di Indonesia.

Tujuan umum dari penelitian ini adalah peningkatan mutu dan daya saing melalui pengembangan proses, dan desain peralatan produksi pangan berbasis cokelat untuk diterapkan pada skala industri kecil dan menengah. Manfaat dari kegiatan penelitian pengembangan proses produksi pangan berbasis cokelat spesifik lokasi untuk peningkatan mutu, keamanan dan daya saing adalah :

1. Peningkatan mutu dan nilai tambah biji kakao kering.

2. Ketersediaan teknologi pengolahan permen cokelat dan bubuk cokelat untuk industri kecil.
3. Peningkatan peluang usaha yang terkait dengan industri kakao.
4. Peningkatan mutu dan daya saing produk pangan berbasis cokelat buatan Indonesia terhadap buatan impor.
5. Peningkatan pendapatan dan kesejahteraan petani kakao melalui keterjaminan pembelian bahan baku oleh industri kecil kakao.
6. Peningkatan peluang lapangan kerja di pedesaan.

METODE PENELITIAN

Peningkatan Mutu Biji Kakao Kering Produk Petani Dengan Teknik Rehidrasi Berbasis Aktivitas Enzim Polifenol Oksidase

Kegiatan ini mengkaji pengaruh proses rehidrasi, yang didasarkan atas kondisi optimum aktivitas isolat enzim polifenol oksidase yang diisolasi dari biji kakao kering produk petani, terhadap kualitas hasil biji kakao kering dan pembentukan komponen prekursor cita rasa khas kakao. Standar kondisi proses rehidrasi biji kakao kering produk petani untuk peningkatan mutu ditetapkan sesuai persyaratan yang ditetapkan dalam standar mutu biji kakao.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial 3 faktor. Faktor-faktor percobaan adalah kondisi proses rehidrasi yang didasarkan atas variasi kondisi optimum aktivitas isolat enzim PPO hasil penelitian Ganda Putra *et al.* (2009), yaitu: suhu 53,43°C; pH 5,42 dan waktu inkubasi 80,91 menit. Faktor I adalah suhu air perendam yang terdiri atas 3 taraf, yaitu: 43,43°C; 53,43°C dan 63,43°C; faktor II adalah pH air perendam yang terdiri atas 3 taraf, yaitu: 4,42; 5,42 dan 6,42 dan faktor III adalah waktu perendaman yang terdiri atas 5 taraf, yaitu: 20, 50, 80, 110 dan 140 menit. Masing-masing kombinasi perlakuan (45 kombinasi) diulang 3 kali sehingga diperoleh 135 unit percobaan.

Formulasi Permen Cokelat

Dua macam formulasi permen cokelat akan dicobakan dalam kegiatan ini, keduanya akan dibandingkan dengan uji organoleptik terhadap permen cokelat komersial yang ada di pasaran.

Pengembangan Desain Dan Manufakturing Mesin Pencetak Formula Cokelat

Desain mesin refiner, conching, pencetak dan vibrator cetakan, dan penyangrai bubuk cokelat , serta lemari tempering dirancang atas dasar analisis teknis seluruh rangkaian proses yang menyangkut neraca masa dan neraca energi.Mesin diterapkan pada industry mitra untuk skala usaha komersial setelah selesai manufacturing dan pengujian.

Pengembangan GMP dan HACCP

Keamanan pangan (*food safety*) adalah faktor yang harus menjadi perhatian utama karena tidak dapat dikompromikan. Untuk dapat masuk ke pasar regional maupun global, GMP (*Good Manufacturing Practices*) perlu diterapkan secara konsisten dalam produksi olahan pangan berbasis cokelat ini. Disamping itu kajian-kajian terkait dengan HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Point*) perlu dilakukan agar dapat diterapkan pada saat produk pangan berbasis cokelat ini diproduksi untuk tujuan komersial. Paling tidak produk pangan olahan berbasis cokelat ini nantinya dapat diakui sebagai produk bermutu dan aman dikonsumsi melalui penilaian oleh lembaga yang berwenang seperti Badan Pengawas Obat dan Makanan (Badan POM), RI. (Fardiaz, 2005). Pengkajian Cara Produksi Pangan yang Baik (*GMP = Good Manufacturing Practices*) pada industri cokelat di Jimbaran, Bali, dilakukan sebagai bagian dari persyaratan awal (*pre-requisite*) yang diperlukan dalam pengembangan HACCP. Bersamaan dengan itu produk permen cokelatakan didaftarkan untuk ijin MD.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peningkatan Mutu Biji Kakao Kering Produk Petani Dengan Teknik Refermentasi Berbasis Enzim Polifenol Oksidase

Hasil penelitian (Tabel 3.1 dan 3.2) menunjukkan bahwa suhu, dan pH, serta interaksi keduanya memberikan pengaruh yang nyata terhadap berbagai parameter mutu kakao berikut : kadar air, biji tak terfermentasi, biji berkapang, pH, dan indeks fermentasi. Pengaruh yang nyata juga terlihat pada komponen prekursor cita rasa kakao yaitu total asam, gula reduksi, teobromin, dan total polifenol.

Tabel 3.1. Mutu biji kakao hasil refermentasi

Perlakuan				Parameter Mutu							
Suhu (°C)	pH	Kadar Air (%)	Shell (%)	Nib (%)	Jumlah Biji per 100 g	Slaty Beans (%)	Biji Ber kapang (%, biji)	Flat Beans (%, per 300 biji)	Indeks fermen tasi (abs. 460/ 530)	Nib pH	Kotor-an (%)
44	4.4	5.48 ^{abc}	14.05 ^a	85.95 ^a	103.67 ^d	8.67 ^{ab}	4.33 ^c	6.56 ^{ab}	0.77 ^{cd}	6.41 ^{ab}	6,00 ^a
	5.4	5.71 ^{abc}	12.77 ^a	87.23 ^a	102.67 ^d	9.67 ^a	5.44 ^{bc}	8.44 ^a	0.73 ^e	6.43 ^a	5,92 ^a
	6.4	5.81 ^{ab}	13.71 ^a	86.29 ^a	102.33 ^d	8.67 ^{ab}	4.89 ^c	6.33 ^{ab}	0.76 ^d	6.25 ^{ab}	7,92 ^a
54	4.4	5.72 ^{abc}	14.97 ^a	85.03 ^a	104.00 ^c	8.33 ^{abc}	5.56 ^{bc}	6.33 ^{ab}	0.77 ^{cd}	6.18 ^b	6,53 ^a
	5.4	7.02 ^a	12.78 ^a	87.22 ^a	107.00 ^{bc}	6.89 ^{cd}	3.11 ^a	6.11 ^{ab}	0.80 ^{ab}	6.35 ^{ab}	7,45 ^a
	6.4	5.34 ^{abc}	13.98 ^a	86.02 ^a	105.67 ^{cd}	9.67 ^a	7.67 ^{ab}	6.67 ^{ab}	0.80 ^{ab}	6.23 ^{ab}	5,91 ^a
64	4.4	5.13 ^{bc}	13.31 ^a	86.69 ^a	114.00 ^a	7.67 ^{bc}	3.33 ^a	5.44 ^{bc}	0.82 ^a	6.22 ^b	4,78 ^a
	5.4	5.04 ^c	14.70 ^a	85.30 ^a	109.0 ^{abc}	5.67 ^d	9.89 ^a	3.44 ^c	0.79 ^{bc}	6.23 ^{ab}	5,19 ^a
	6.4	5.38 ^{abc}	15.31 ^a	84.69 ^a	111.67 ^{ab}	6.67 ^{cd}	3.89 ^a	4.22 ^{bc}	0.81 ^{ab}	6.21 ^b	6,06 ^a
LSD 5%		0.76	2.73	2.69	5.05	1.70	2.74	2.50	0.02	0.20	5.25

Tabel 3.2. Hasil analisis statistik untuk prekursor komponen dari citarasa kakaosetelah refermentasi

Perlakuan		Komponen Prekursor untuk Cita Rasa Kakao				
Suhu (°C)	pH	Total asam (meq NaOH/g)	Gula reduksi (%)	Total poli fenol (%)	Theobromine (%)	
44	4.4	0.24 ^{bc}	1.11 ^b	10.35 ^b	0.89 ^{ef}	
	5.4	0.20 ^d	0.95 ^d	10.04 ^b	1.11 ^a	
	6.4	0.23 ^{bcd}	0.64 ^g	4.54 ^f	0.99 ^{cd}	
54	4.4	0.28 ^a	0.83 ^e	4.08 ^f	0.80 ^g	
	5.4	0.23 ^{bcd}	0.68 ^g	6.95 ^d	1.02 ^{bc}	
	6.4	0.25 ^{abc}	1.25 ^a	6.87 ^d	1.11 ^a	
64	4.4	0.21 ^{cd}	0.74 ^f	11.54 ^a	0.94 ^{de}	
	5.4	0.26 ^{ab}	0.65 ^g	8.05 ^c	1.08 ^{ab}	
	6.4	0.28 ^a	1.03 ^c	5.92 ^e	0.82 ^{fg}	
LSD 5%		0.03	0.05	0.49	0.07	

Rancangan dan Manufakturing Mesin Pengolahan Produk Cokelat

Hasil manufakturing mesin refiner, mesin conching, lemari tempering, mesin pencetak cokelat dan vibrator cetakan cokelat, serta mesin penyangrai bubuk cokelat disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 3.1. Mesin pengolahan permen cokelat hasil kegiatan program : dari kiri atas sesuai jarum jam : mesin refiner, mesin conching, mesin penyangrai bubuk cokelat, mesin pencetak dan vibrator cetakan cokelat, dan lemari tempering.

Kapasitas masing-masing mesin adalah refiner 4 kg/jam, conching 20 kg/6 jam, mesin pencetak cokelat 30 kg/jam, mesin penyangrai bubuk cokelat 30 kg/jam, lemari tempering 600 cokelat batang @ 70 g

Perbaikan Formula Permen Cokelat

Untuk pengujian formula permen cokelat digunakan dua macam formula baru yang dibandingkan secara organoleptik dengan cokelat komersial, dalam hal ini diambil cokelat merk Silver Queen *dark* yang banyak terdapat di pasaran di seluruh Indonesia.

Tabel 3.3. Hasil uji *Simple Paired Comparisons Test* formula 1 dengan produk Silver Queen dark)

Panelis	Formula 1				
	Kemanisan	Aroma	Tekstur	Kelembutan	Warna
P1	0	1	1	1	0
P2	0	0	1	1	0
P3	0	0	1	0	0
P4	0	0	1	0	0
P5	1	0	1	0	0
P6	1	0	1	1	0
P7	0	0	0	1	0
P8	1	0	1	0	0
P9	0	0	1	1	0
P10	0	0	1	1	0
P11	1	0	0	1	0
P12	0	0	0	1	0
P13	1	0	1	1	0
P14	1	0	1	1	0
P15	0	0	1	0	0
Jumlah berbeda	9	14	3	5	15

keterangan : 0 = berbeda 1 = sama

Tabel 3.4. Hasil uji *Simple Paired Comparisons Test* untuk formula 2 dengan produk Silver Queen dark

Panelis	Formula 2				
	Kemanisan	Aroma	Tekstur	Kelembutan	Warna
P1	1	1	1	1	0
P2	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0
P5	0	0	1	0	0
P6	0	0	1	0	0
P7	0	0	0	0	0
P8	1	0	0	0	0
P9	0	0	0	0	0
P10	0	0	0	1	0
P11	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	1	0
P13	0	0	0	0	0
P14	1	0	1	0	0
P15	0	0	0	0	0
Jumlah berbeda	12	14	11	12	15

keterangan : 0 = berbeda 1 = sama

Dari hasil uji organoleptik secara Uji Perbandingan Berpasangan Sederhana (Simple Paired Comparison Test) yang disajikan dalam Tabel 3.3 dan 3.4, ternyata bahwa kemanisan, tekstur dan kelembutan cokelat candy formula 1 tidak berbeda nyata dengan Silver Queen pada tingkat 5 %, kecuali untuk aroma dan warna yang berbeda nyata pada tingkat 1 %. Sedangkan cokelat candy formula 2 berbeda nyata dengan Silver Queen untuk semua komponen cita rasa yaitu kemanisan, tekstur, kelembutan, aroma dan warna. Dengan demikian disimpulkan bahwa formula 1 adalah formula yang disarankan untuk dipakai seterusnya oleh mitra industri.

Perencanaan Tata Letak Pabrik Sesuai GMP dan HACCP



Sebelum : sudut siku dan ada jendela terbuka, dinding tembok



Sesudah : tidak ada jendela terbuka dan ventilasi tertutup flexi glass



Sebelum : kabel lalu lalang di lantai



Sesudah : tidak ada kabel lalu lalang, sudut lengkung, dan dinding keramik 1.5m dari bawah



Sebelum : lampu terbuka



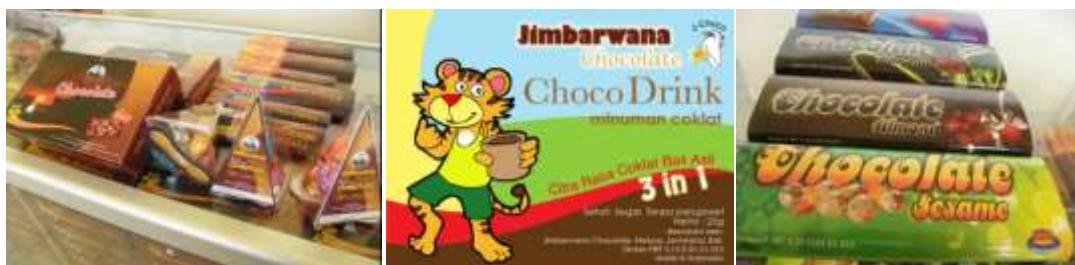
Sesudah : lampu tertutup

Gambar 3.2. Keadaan unit pengolahan industry mitra sebelum dan sesudah renovasi sesuai GMP dan HACCP.

Beberapa hasil evaluasi sanitasi dan higienis tata letak dan operasional pabrik yang perlu diperbaiki sesuai GMP dan HACCP dalam rangka pengajuan ijin MD dari Badan POM diuraikan bersama hasil renovasi pabrik yang telah selesai dilakukan (Gambar 2).

Pendampingan Kewirausahaan

Pendampingan kewirausahaan menghasilkan perbaikan kemasan, perluasan wilayah ke berbagai propinsi melalui agen distributor di Banyuwangi dengan merek lain, dan keragaman cokelat dengan isi kacang mete, kacang tanah, kismis, dan wijen seperti dipaparkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Kemasan baru untuk permen dan bubuk cokelat dan kemasan agen distributor di Jatim.

KESIMPULAN

1. Refermentasi biji kakao dari petani di pabrik dapat meningkatkan mutu biji kakao yang pada gilirannya akan meningkatkan mutu permen cokelat.
2. Mesin pengolahan permen cokelat untuk industri kecil telah dilengkapi dengan lemari tempering, mesin pencetak cokelat, mesin vibrator untuk melepaskan cetakan cokelat, dan mesin penyangrai bubuk cokelat.
3. Semua mesin telah beroperasi secara komersial di Unit Pengolahan Kakao Jimbarwana, Kabupaten Jembrana, Bali.
4. Formula permen cokelat yang telah diperbaiki ternyata disukai oleh konsumen dan cita rasanya dinilai oleh konsumen tidak berbeda dengan cita rasa cokelat komersial yang telah ada di pasaran.
5. Teknologi pengolahan permen cokelat yang meliput mesin refiner, conching, tempering, pencetak cokelat dan vibrornya, serta mesin penyangrai bubuk

- cokelat siap untuk didiseminasikan ke berbagai industri kecil di berbagai wilayah Indonesia.
6. Wilayah pemasaran permen cokelat produksi Unit Pengolahan Kakao Jimbarwana, Bali telah bertambah luas, sedangkan jenis produk telah meliput permen cokelat dengan beragam tambahan isi yaitu, kacang mete, kismis, dan wijen.
 7. Permintaan akreditasi MD telah dilakukan setelah unit pengolahan kakao di renovasi sesuai dengan persyaratan HACCP dan GMP.

DAFTAR PUSTAKA

- Ditjenbun. 2006. Statistik Perkebunan Indonesia; Kakao 2004-2006. Direktorat Jenderal Perkebunan. Departemen Pertanian.
- Fardiaz, D. 2005. Emerging Technology for Improving the Quality and Safety of Foods. Paper presented at the 9th ASEAN Food Conference 2005. 7-10 August, Jakarta, Indonesia.
- Ganda Putra, G.P., N.M. Wartini dan A.A.M.D. Angreni. 2009. Optimasi Aktivitas Enzim Polifenol Oksidase Dalam Biji Kakao Dengan Teknik Rehidrasi Untuk Peningkatan Mutu Biji Kakao Kering Produk Petani. Laporan Penelitian Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional Batch II. Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana, Denpasar.
- ICBS. International Contact Business System. 1998. Studi tentang profil perkebunan kopi dan prospek investasi industri kopi bubuk di Indonesia. PT. International Contact Business System, Inc., Jakarta.
- Man E. and Man F. 2004. *Cocoa Report Market No. 371: March 2004*. Ed & F Man Ltd.
- SNI 01-2323-1995. Standar Nasional Indonesia Biji Kakao. Jakarta : Dewan Standardisasi Nasional-DSN,.
- USDA. 2000. Tropical product : World Markets and Trade, Circular series-USDA, June.
- Zaenudin. 2004. Peningkatan mutu produk kopi dan kakao untuk peningkatkan daya saing. Makalah Temu Wicara Peningkatan Ekspor Kopi dan Kakao, Makasar, Mei 2004.
- Zaenudin dan Martadinata. 2000. Tantangan dan strategi pengembangan agribisnis kopi dan kakao di Indonesia memasuki abad ke-21. *Warta Pusat Penelitian kopi dan kakao*, 16 (3):189-197.

**SIFAT OPTIK FILM TIPIS MATERIAL FERROELEKTRIK
Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ YANG DIDADAH FERIUM**
(Optical Properties of Ferroelectric Material Ferric Doped Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃
Thin Film)

**Irzaman¹⁾, Akhirudin Maddu¹⁾, Ardian Arif¹⁾, Heriyanto Syafutra¹⁾,
Ihsan Surur¹⁾**

¹⁾Dep. Fisika Fakultas Matematika dan IPA IPB

ABSTRAK

Film tipis BST dan BST didadah ferium (BFST) telah berhasil ditumbuhkan di atas substrat si (100) tipe-p. Film tipis ditumbuhkan dengan metode chemical solution deposition (CSD) dan spin coating, dengan ke larutan prekursor 1.00 M dengan kecepatan putar 3000 rpm selama 30 detik. Film tipis ini di annealing pada suhu 850 °C selama 15 jam dalam suasana oksigen. Film tipis Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ ini memiliki sifat optik yaitu reflektansi maksimum pada kisaran panjang gelombang 320-330 nm, energi band gap sebesar 3,46 eV, koefisien absorbansi dan eksitasi yang bervariasi terhadap panjang gelombang, indeks bias pada panjang gelombang 450 nm (n=2,49) dan E_o (7.41 eV) serta E_d (26.47 eV).

Kata Kunci : Panjang gelombang, BST, film tipis, sifat optik.

ABSTRACT

Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ (BST) and Iron doped BST (BFST) thin films were successfully deposited on p-type Si (100) substrates. The thin films were fabricated by the chemical solution deposition (CSD) and spin coating method, with 1.00 M precursor and spinning speed of 3000 rpm for 30 seconds. The post deposition annealing were carried out iron doped BST annealing 850°C for 15 hour in oxygen gas atmosphere, respectively. The optical properties of the grown thin films in wavelength 320 – 330 nm, band gap is 3,46 eV, reflectance index at wavelengeth 450 nm (n=2,49), E_o (7.41 eV) and E_d (26.47 eV).

Keywords : Wavelength, BST, thin film, optical properties.

PENDAHULUAN

Film tipis ferroelektrik sangat berpotensi dikembangkan menjadi *optoelektronic device* karena memiliki energi band gap > 3 eV, konstanta dielektrik besar, indek bias yang besar, koefisien absorbansi yang kecil. Telah banyak penelitian (Zhang TJ *et al.* 2008 dan Wang YP *et al.* 1999) yang mempelajari sifat optic film tipis BST, mereka meneliti sifat optik film tipis Ba_{0,65}Sr_{0,35}TiO₃ dan Ba_{0,7}Sr_{0,3}TiO₃ yang ditumbuhkan dengan metode RF-Sputtering dengan suhu di bawah 650°C, sedangkan (Wang DY *et al.* 2007) meneliti struktur dan sifat elektro-optik film tipis Ba_{0,7}Sr_{0,3}TiO₃ pada substrat LaAlO₃ (LAO) (001), (LaAlO₃)_{0,3}(Sr₂AlTaO₆)_{0,35} (LSAT) (001) dan SrTiO₃

(STO) (001) yang ditumbukan dengan metode *pulsed laser deposition*, peneliti (Hu Z *et al.* 2004) meneliti sifat optik film tipis $\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1}\text{TiO}_3$ pada daerah inframerah yang ditumbuhkan dengan metode sol gel dan diannealing pada suhu 750°C.

Sifat optik film tipis BST dipengaruhi oleh suhu annealing (Wang YP *et al.* 1999 dan Hu Z *et al.* 2004) dan rasio Ba dan Sr, dan doping (atom pengotor) yang diberikan pada struktur BST. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang pengaruh doping pada sifat optik dan listrik film tipis BST. Beberapa doping yang telah digunakan para peneliti sebelumnya adalah doping Au (Kim J *et al.* 2006), doping (Ti, Mg, Al) (Zheng YB *et al.* 2006) dan memberikan doping Ce (Basu S *et al.* 2007).

Data spektrum absorbansi, transmitansi dan reflektansi dapat digunakan untuk menghitung besaran-besaran optik seperti; energi band gap, koefisien absorbansi, koefisien eksitasi, indek bias, energi single-oscillator dan energi dispersi. Untuk substrat yang tidak transparan seperti silikon dapat digunakan data spektrum reflektansi untuk menghitung besaran-besaran optik. Beberapa peneliti yang telah melakukan pengolahan menggunakan spektrum reflektansi untuk menghitung besaran-besaran optik adalah Vipin Kumar *et al.* 1999 (CdS, ZnS, CdZnS), A.B. Murphy. 2007 (TiO₂), Sachin K. Sharma. *et al.* 2008 (CdSe) dan G P Joshi *et al.* 2003 (Ni-Zn ferrites).

Pada penelitian ini akan ditumbuhkan film tipis BST yang didoping ferrium 7,5% pada substrat Si (100) tipe-p dengan menggunakan metode sol gel dan diikuti dengan proses spincoating. Film tipis BST ini kemudian akan dianaling pada suhu 850°C untuk kemudian dikarakterisasi sifat-sifat optiknya mulai dari spectrum reflektansi, energy band gap, ketebalan, koefisien absorbansi, koefisien eksitasi, indeks bias energi single osilator (E_o) dan energi disperse (E_d)

METODE PENELITIAN

Film tipis BSFT pada penelitian ini didapatkan dengan mencampurkan 0,3193 gram bubuk Barium Asetat [Ba(CH₃COO)₂, [99%], 0,2572 gram bubuk

Stronsium Asetat [Sr(CH₃COO)₂, 99%], 0,0391 gram bubuk Besi Oksida (Fe₂O₃) dan 0,7107 gram cairan Titanium Isopropoksida [Ti(C₁₂O₄H₂₈), 99.999%] di dalam pelarut 2-metoksiethanol [H₃COCH₂CH₂OH, 99%] sebanyak 2,5 ml. Campuran ini di getarkan menggunakan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 22 kHz selama 1 jam untuk mendapatkan larutan prekursor BSFT yang homogen.

Proses berikutnya, setelah didapatkan larutan prekursor BSFT adalah melapiskan larutan ini di atas substrat silikon tipe-p (100) dengan menggunakan *spincoater*. Substrat silikon yang telah dipotong dengan ukuran diameter 8 mm ditempatkan di atas piringan *spincoater*, ditetes larutan prekursor BSFT sebanyak 2 tetes menggunakan pipet. Kemudian hidupkan *spincoater* dengan kecepatan putar 3000 rpm selama 30 detik. Diamkan selama 1 menit, kemudian dilakukan kembali penetesan dan penspinan sebanyak 3 kali ulangan.

Substrat silikon yang telah dilapisi oleh BSFT ini kemudian di panaskan pada suhu 850 °C menggunakan *furnace* dengan laju kenaikan suhu 1,7 °C/menit. Setelah dicapai suhu 850°C, suhu ditahan selama 15 jam dan kemudian dibiarkan turun menuju suhu lingkungan. Untuk mengetahui spektrum reflektansi dari film tipis BSFT, digunakan alat *UV-VIS Spectrophotometer Ocean Optics USB 1000* dengan panjang gelombang (350-800 nm).

Pada penelitian ini energi band gap film tipis BST dihitung menggunakan metode Tauc, seperti yang digunakan oleh peneliti (Joshi GP *et al.* 2003; Muth JF *et al.* 1997; Kumar V *et al.* 1999 dan Murphy AB. 2007). Metode Tauc ini menggunakan hubungan koefisien absorbansi dengan energi photon yang datang pada film tipis, seperti pada persamaan (1).

$$\alpha h\nu = A (h\nu - E_g)^n \quad (1)$$

Dimana Eg energi band gap, A konstanta yang bergantung pada jenis transisi elektron pada bahan, hν energi foton yang datang, α koefisien absorbansi, dan n konstanta yang dapat bernilai 1/2, 3/2, 2 dan 3 bergantung pada jenis transisi elektron pada bahan. YB Zheng *et al.* 2006 mengasumsikan n = 1/2 untuk menghitung energi band gap Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ yang ditumbuhkan pada substrat

LaAlO₃, menggunakan metode pulsed laser deposition (PLD). Nilai n = 1/2 adalah untuk transisi jenis transisi langsung (*direct*). Vipin Kumar *et al.* 1999 dan GP Joshi, *et al.* 2003 melaporkan bahwa koefisien absorbansi sebanding dengan $\ln \{(R_{\max} - R_{\min})/(R - R_{\min})\}$ seperti;

$$2\alpha t = \ln \left[\frac{R_{\max} - R_{\min}}{R - R_{\min}} \right] \quad (2)$$

Dimana t ketebalan film, R_{max} dan R_{min} nilai maksimum dan minimum refleksi film dan R nilai reflektansi yang bersesuaian dengan energy foton. Dengan memplotkan nilai $(\alpha h\nu)^2$ atau di sumbu-y dan $(h\nu)$ di sumbu-x akan didapatkan garis lurus. Dengan mengekstrapolasi garis lurus ini pada saat nilai $[\ln \{(R_{\max} - R_{\min})/(R - R_{\min})\}]^2 = 0$ akan didapatkan nilai energi band gap dari film tipis BST. Koefisien absorbansi pun dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2) dengan cara memasukkan nilai ketebalan film tipis.

Untuk menghitung ketebalan film tipis BST dapat digunakan metode volumetrik (Syafutra H. 2008). Metode mengasumsikan film tipis yang ditumbuhkan di atas substrat terdeposisi secara merata. Persamaan yang digunakan untuk menghitung ketebalan film tipis adalah ;

$$d = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{\text{film tipis}} \cdot A} \quad (3)$$

dimana m₁ massa substrat film tipis tanpa dilapisi film tipis, m₂ massa substrat setelah dianneling dan dilapisi ρ₁ massa jenis film tipis yang terdeposisi (pada penlitian ini digunakan massa jenis BaTiO₃ = 6,02 g/cm³), dan A luas permukaan substrat yang dilapisi film tipis.

Pada bahan semikonduktor koefisien absorbasi adalah fungsi dari panjang gelombang foton seperti pada persamaan (4)

$$\alpha = \frac{4\pi k_e}{\lambda} \quad (4)$$

Dimana k_e koefisien eksitasi dan λ panjang gelombang foton (S.M.Sze).

MY Nadeem dan Waqas Ahmed. 2000 memberikan hubungan antara reflaktansi dan indeks bias bahan seperti pada persamaan (5);

$$R = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} . \quad (5)$$

Dimana R nilai reflektansi film tipis, n indeks bias yang bersesuaian dengan panjang gelombang foton yang datang.

Assem Bakry. 2008 dan YP Wang et al. 1999 menggunakan model *single-oscillation* untuk menghitung *single-oscillator* (E_o) dan energi *dispersion* (E_d). Hubungan indeks bias, energi foton, E_o dan E_d adalah;

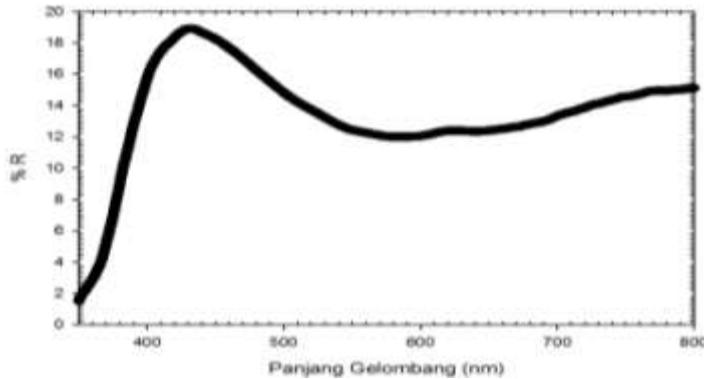
$$n^2 - 1 = \frac{E_o E_d}{E_o^2 - h\nu^2} \quad (6)$$

Nilai E_o dan E_d didapat dari nilai intersep dan slope plot antara $n^2 - 1^{-1}$ vs $h\nu^2$.

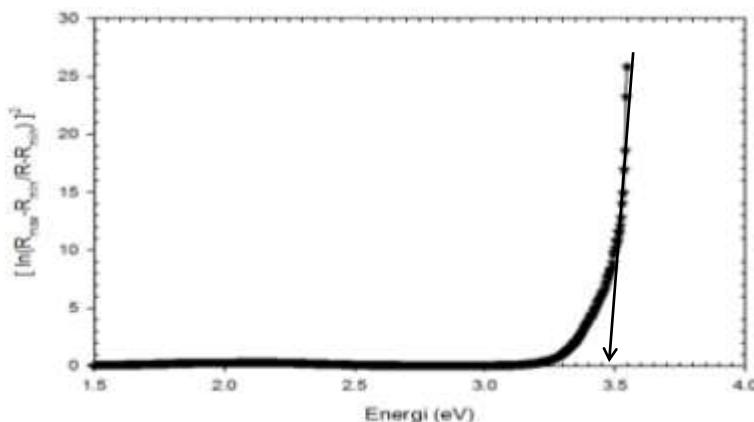
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran spektrum reflektansi film tipis BST yang didadah ferrium menggunakan alat *UV-VIS Spectrophotometer Ocean Optics USB 1000* ditunjukkan pada Gambar 1. Persentase reflektansi film tipis BST yang didadah ferrium ini kurang dari 20%, ini menunjukkan film tipis ini sedikit sekali merefleksikan cahaya, reflektansi terbesar terjadi pada kisaran panjang gelombang 420 -430 nm. Pada panjang gelombang ini, energi foton yang datang lebih banyak direfleksikan dari pada di serap. Serapan maksimum terjadi pada panjang gelombang kurang dari 350 nm yang ditunjukkan dengan nilai reflektansinya kurang dari 2%. Dengan kecilnya persentase energi foton yang di refleksikan, film tipis BST didadah ferrium ini sangat potensial untuk dijadikan device opto-elektronik yang memiliki kepekaan terhadap cahaya yang tinggi.

Berdasarkan metode yang digunakan oleh Vipin Kumar et al. 1999 dan GP Joshi et al. 2003, didapatkan grafik seperti pada Gambar 2. Dari Gambar 2 didapatkan energi band gap film tipis BST berkisar 3,46 eV, hasil ini tidak jauh berbeda dengan yang didapatkan oleh YB Zheng et al. 2006 yang mana energi band gapnya > 3,4 eV untuk film tipis $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ yang didadah Ti, Mg dan Al.



Gambar 1. Spektrum reflektansi film tipis BST yang didadah Ferrium 7,5%.

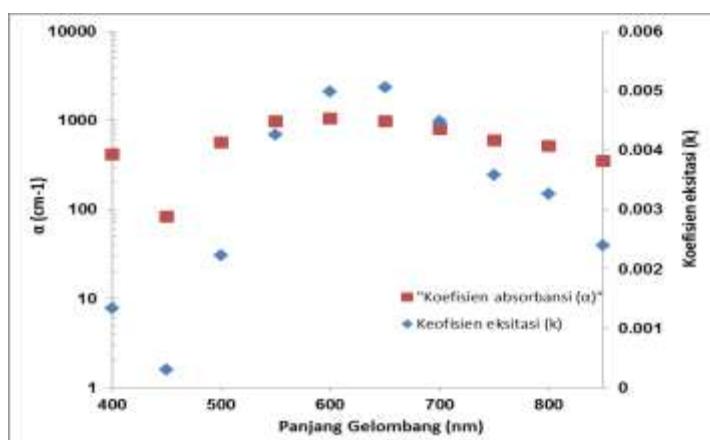


Gambar 2. Energi band gap B

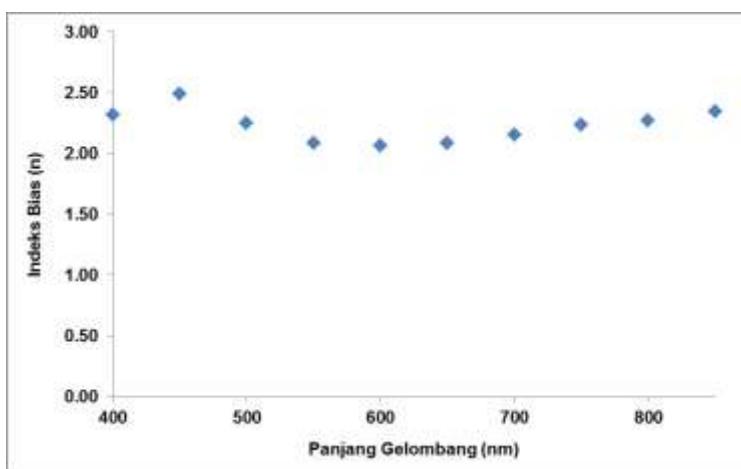
Energi band gap film tipis BST yang berkisar 3,46 eV ini bersesuaian dengan data spectrum reflektansi pada Gambar 1 yang mana reflektansi minimum (absoorbansi maksimum) terjadi pada panjang gelombang pendek yang berseuaian dengan energi foton yang besar (>3 eV).

Dari Persamaan (2), didapatkan nilai koefisien absorbansi film tipis BST yang bervariasi terhadap panjang gelombang foton datang seperti pada Gambar 3. Untuk menghitung nilai koefisien absorbansi ini, digunakan data ketebalan film tipis BST sebesar $2,40 \mu\text{m}$. data ketebalan ini, dihitung dengan menggunakan metode volumetri. Pada Gambar 3 juga dapat dilihat hubungan antara koefisien eksitasi dengan panjang gelombang foton datang. Baik koefisien absorbansi maupun koefisien eksitasi, keduanya memiliki variasi terhadap panjang gelombang foton yang datang.

Dengan menggunakan hubungan yang diberikan oleh MY Nadeem dan waqas Ahmed. 2000, didapatkan variasi indeks bias film tipis BST didadah ferrium terhadap panjang gelombang foton seperti pada Gambar 4. Di Gambar 4, didapatkan nilai indeks bias maksimum terjadi pada kisaran panjang gelombang 450 nm ($n = 2,49$), sedangkan nilai indeks bias minimum disekitar panjang gelombang 600 nm ($n = 2,06$). Pola naik turunnya indeks bias terhadap panjang gelombang foton bersesuaian dengan spektrum reflektansi film tipis BST pada Gambar 1. Dimana pada panjang gelombang yang persen reflektansi besar nilai indeks bias besar dan sebaliknya. Kisaran indeks bias yang didapatkan pada penelitian ini sama dengan yang didapatkan oleh Y P Wang, *et al.* 1999.

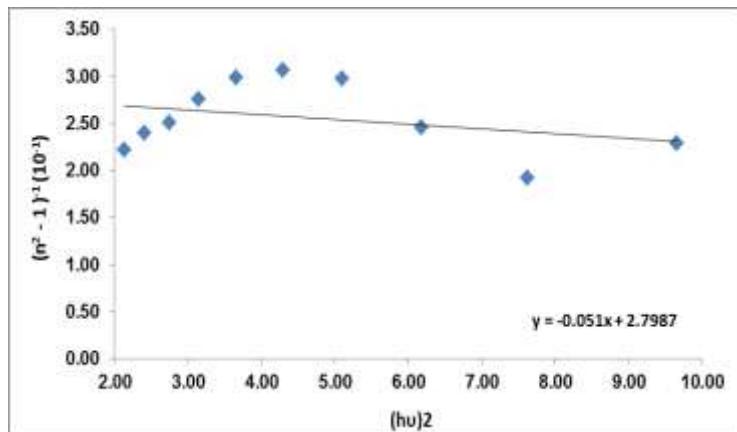


Gambar 3. Koefisien absorbansi dan koefisien eksitasi film tipis BST yang didadah ferrium.



Gambar 4. Indeks bias film tipis BST yang didadah ferrium

Dari Gambar 5. Dapat dihitung nilai E_o (7.41 eV) dan E_d (26.47 eV), nilai ini mendekati yang didapatkan oleh Y P Wang, *et al.* 1999. E_o merupakan energi pembatas antara pita konduksi dan pita valensi, sedangkan E_d merupakan energi rata-rata *interband optical transitions* dan dihubungkan dengan nomor koordinat atom.



Gambar 5. Hubungan faktor indeks bias $(n^2 - 1)^{-1}$ vs $(h\nu)^2$.

KESIMPULAN

Metode sol gel dengan diikuti proses spincoating, telah dapat menumbuhkan film tipis BST yang didoping ferrium sebesar 7,5%. Dari hasil karakterisasi sifat optik didapatkan nilai persentase reflektansi kurang dari 20%, energi band gap yang sesuai dengan bahan ferroelektrik (3,45 eV), koefisien absorbansi dan eksitasi, indeks bias ($n > 2$), dan E_o dan E_d yang sesuai untuk nilai bahan oksida.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Program Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan/Penelitian Strategis Nasional 2010, DIPA IPB, Republik Indonesia dengan nomor kontrak 2/I3.24.4/SPK/PSN/2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakry A. 2008. Dispersion and Fundamental Absorption Edge Analysis of Doped a-Si:H thin Films I : p-type. *Egypt J Solids*. 31(2):191-2004.

- Basu S, Verma A, Agrawal DC, Mohapatra YN, Katiyar RamS. 2007. Effect of uniform and periodic doping by Ce on the properties of barium strontium titanate thin films. *J Electroceram.* 19:229-236.
- Hu Z, Wang G, Huang Z, Meng X, Zhao Q, Chu J. 2004. Effects of thickness on the infrared optical properties of $\text{Ba}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{TiO}_3$ ferroelectric thin films. *Appl Phys A.* 78:757-760.
- Joshi GP, Saxena NS, Mangal R, Mishra A, Sharma TP. 2003. Band gap determination of Ni-Zn ferrites. *Bull Mater Sci.* 26(4):387-389.
- Kim J, Pak J, Nam K, Park G. 2006. Calculation of the intrinsic dead layers thicknesses from Au/ $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ /Pt thin film capacitors. *J Electroceram.* 16:495-498.
- Kumar V, Sharma SKr, Sharma TP, Singh V. 1999. Band gap determination in thick film from relectance measurements. *Opt Mat.* 12:115-119.
- Murphy AB. 2007. Band-gap determination from diffuse reflectance measurements of semiconductor films, and application to photoelectrochemical water-splitting. *Solar Energy Materials & Solar Cells.* 91:1326-1337.
- Muth JF, Lee JH, Shmagin IK, Kolbas RM, Casey HC, Keller BP, Mishra UK, DenBaars SP. 1997. Absorption coefficient, energy gap, exciton binding energy, and recombination lifetime of GaN obtained from transmission measurements. *Appl Phys Lett.* 71(18):2572-2574.
- Nadeem MY, Ahmed W. 2000. Optical Properties of ZnS Thin Films. *Turk J Phy.* 24:651-659.
- Sharma KS, Kumar L, Kumar S, Sharma TP. 2008. Dependence of band gap on deposition parameters In CdSe sintered films. *Chalcogenide Letters.* 5(4):73-78.
- Syafutra H. 2008. Studi fotodiode film tipis BST didadah tantalum [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Wang DY, Wang J, Chan HLW, Choy CL. 2007. Structural and electro-optic properties of $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{TiO}_3$ thin films grown on various substrates using pulsed laser deposition. *J Appl Phys.* 101:1-6.
- Wang YP, Tseng YT. 1999. Optical and structural properties of (Ba, Sr)TiO₃ thin films grown by radio-frequency magnetron sputtering. *J Mat Science.* 34:4573-4578.
- Zhang TJ, Li SZ, Zhang BS, Pan RK, Jiang J, Ma ZJ. 2008. Optical properties of RF-sputtered $\text{Ba}_{0.65}\text{Sr}_{0.35}\text{TiO}_3$ thin films. *J Electroceram.* 21:174-177.
- Zheng YB, Wang SJ, Kong LB, Tripathy S, Huan ACH, Ong CK. 2006. Structural properties and dopant-modified bandgap energies of $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ thin films grown on LaAlO_3 substrates. *J Electroceram.* 16:571-574.

**RESPONS TINGKAH LAKU IKAN KERAPU MACAN TERHADAP
UMPAN BUATAN PADA SKALA LABORATORIUM**
(Response of Grouper to Artificial Bait at Laboratory Scale)

Mochammad Riyanto¹⁾, Ari Purbayanto¹⁾, Dian Indrawatie¹⁾

¹⁾Dep. Pemanfaatan Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB

ABSTRAK

Ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) merupakan ikan karang ekonomis penting. Penangkapan ikan karang paling efektif dengan menggunakan bubi (perangkap), yang dalam pengoperasiannya dibutuhkan umpan. Tujuan penelitian ini mengetahui pola pergerakan ikan kerapu macan dalam merespons umpan buatan dan menguji respons ikan kerapu macan terhadap komposisi umpan buatan (arginina dan leusina) yang berbeda. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorium. Berdasarkan hasil penelitian pola pergerakan ikan kerapu macan dalam merespons umpan buatan diidentifikasi menjadi tiga pola. Pada kondisi dengan pencahayaan ikan merespons umpan sampai dengan fase *finding*, sedangkan pada kondisi tanpa pencahayaan ikan hanya merespons sampai dengan fase *searching*. Waktu rata-rata respons *arousal* dan *searching* tercepat adalah umpan A. Perbedaan umpan berpengaruh nyata terhadap waktu *arousal* dan *searching*, namun tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap waktu respons *finding* pada kondisi pencahayaan.

Kata kunci : Arginin, kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*), leusina, respons, umpan buatan.

ABSTRACT

Grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) is an economically important reef fish. Catching reef fish is most effective by using pot with bait. The objectives of this study are to determine the movement patterns of grouper fish in response to artificial bait and to analysis response of grouper to different composition of artificial baits (arginin and leucin). The laboratory experiment methods were used in this study. The results of this study showed the movement pattern of grouper identified to be three pattern responses to artificial bait. In the lighting condition fish respond to the baits finding phase, while in the dark condition fish respond to searching phase. The average time for arousal and searching response showed the bait of A was the fastest response time. The different of bait has significantly different for arousal and searching response in lighting or dark condition, but it has not significantly different for finding response in lighting condition.

Keywords : Arginine, artificial bait, grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*), leucine, response

PENDAHULUAN

Ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) merupakan ikan karang konsumsi yang banyak diminati oleh masyarakat terutama masyarakat manca negara. Menurut data Departemen Kelautan dan Perikanan (2006) volume ekspor kerapu tahun 2006 bisa mencapai 1.800 ton atau US\$ 24 juta dari total produksi

perikanan sebesar 12.000 ton. Menurut Soelaiman (2007) permintaan ekspor ikan kerapu dengan tujuan negara Hongkong bisa mencapai 2.868 kg dengan nilai US\$ 5.736,36 juta. Selain Hongkong ikan kerapu juga cukup diminati oleh negara Singapura dengan jumlah ekspor sebesar 32,80 kg dan nilai US\$ 87,90 juta.

Tingginya tingkat permintaan ekspor ikan kerapu membuat para nelayan melakukan segala cara untuk mendapatkan komoditi ini. Kegiatan penangkapan ikan kerapu yang dilakukan oleh nelayan biasanya dengan menggunakan bubu, pancing, bahan peledak dan bius (*potassium cyanide*). Penggunaan bahan peledak dan bius dapat mengakibatkan kerusakan terumbu karang. Ikan yang didapatkan dengan menggunakan bahan peledak dalam kondisi tidak segar atau sudah mati, sehingga memiliki harga yang rendah dan tidak dapat dieksport.

Penggunaan bubu dan pancing dalam penangkapan ikan tidak merusak ekosistem terumbu karang dan sumber daya ikan lainnya. Hal ini disebabkan karena bubu dan pancing merupakan alat tangkap pasif. Terdapat perbedaan kondisi hasil tangkapan dari kedua alat tangkap pasif ini, hasil tangkapan ikan dengan menggunakan pancing kondisinya segar tetapi terdapat luka yang diakibatkan oleh mata pancing yang tajam sedangkan hasil tangkapan dengan bubu kondisinya segar dan tidak terdapat luka.

Faktor penunjang keberhasilan penangkapan menggunakan alat tangkap pasif adalah umpan. Umpan digunakan sebagai pemikat atau atraktan. Ikan karang yang sifatnya bersembunyi pada terumbu karang akan terstimulasi keluar dari terumbu karang karena terpikat bau dari umpan. Umpan yang digunakan dalam pengoperasian bubu dapat dibagi menjadi dua menurut asalnya yaitu umpan alami dan umpan buatan. Umpan alami adalah umpan yang didapatkan dari alam seperti ikan segar, sedangkan umpan buatan adalah umpan yang sengaja dibuat oleh manusia.

Penelitian mengenai umpan telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya antara lain Uji coba beberapa macam umpan tiruan pada penangkapan ikan dengan huate di Perairan Bone-Bone, Kota Bau-Bau Sulawesi Tenggara (Syafrie, 2008); Analisis indera penglihatan ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) dan hubungannya dalam merespons umpan (Natsir,

2008) dan Respons penciuman ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) terhadap umpan (Sejati, 2008); Respons Penciuman ikan kerapu macan terhadap umpan buatan (Riyanto, 2008, Riyanto, *et al* 2010) dan Respons penglihatan dan penciuman ikan terhadap umpan terkait dengan efektivitas penangkapan (Fitri, 2008).

Berdasarkan penelitian sebelumnya didapatkan hasil komposisi umpan buatan asam amino arginina dan leusina dapat digunakan sebagai atraktan yang berperan pada respons penciuman ikan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang pengaruh komposisi asam amino (arginin dan leusin) dan perbedaan warna umpan buatan terhadap respons tingkah laku ikan.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pola pergerakan ikan kerapu macan dalam merespons umpan buatan; dan menguji respons ikan kerapu macan terhadap umpan buatan yang berbeda.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah: akuarium kaca dengan ukuran 130 x 60 x 80 cm, dengan batas ketinggian air 40 cm dan volume air 200 liter. Sekat utama, terbuat dari *fiberglass* warna hitam tebal 0,5 cm dengan ukuran 80 x 50 cm.. Sekat ini diambil pada saat eksperimen respons penciuman ikan dimulai. Fungsi sekat adalah untuk menghalangi ikan ketika umpan dimasukkan sehingga diharapkan ikan tidak dapat melihat umpan yang dipasang kedalam ruang umpan.

Ikan kerapu macan (*Epinephelus fiscoguttatus*) yang digunakan pada penelitian ini dalam kondisi sehat sebanyak 5 ekor dengan panjang total (25-30 cm). Umpan yang digunakan adalah umpan buatan dengan perbedaan komposisi berdasarkan jumlah kandungan bahan penyusun utama yaitu arginina dan leusina dan *Celluloce Methyl Carboxyl* (CMC) *food grade* sebagai bahan pencampur umpan seperti ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi bahan umpan buatan

Asam Amino	Komposisi Kimia Umpan (gr)				
	A	B	C	D	E
Arginin	0,38	0,38	0,50	0,50	0,50
Leusin	0,42	0,54	0,29	0,42	0,54
CMC	20	20	20	20	20

Selain itu umpan dibuat kedalam tiga jenis warna yang berbeda (tanpa warna, biru dan hijau) untuk menimbulkan daya tarik ikan melalui organ penglihatannya. Kedua faktor penentu formulasi umpan (komposisi asam amino dan warna umpan) tersebut di atas merupakan perlakuan yang akan diuji dalam penelitian ini. Rancangan perlakuan perbedaan warna umpan buatan disajikan pada Tabel 2

Tabel 2. Rancangan perlakuan perbedaan warna umpan buatan

Warna \ Umpan	A	B	C	D	E
Tanpa pewarna	A _{Tanpa wama}	B _{Tanpa wama}	C _{Tanpa wama}	D _{Tanpa wama}	E _{Tanpa wama}
Biru	A _{Biru}	B _{Biru}	C _{Biru}	D _{Biru}	E _{Biru}
Hijau	A _{Hijau}	B _{Hijau}	C _{Hijau}	D _{Hijau}	E _{Hijau}

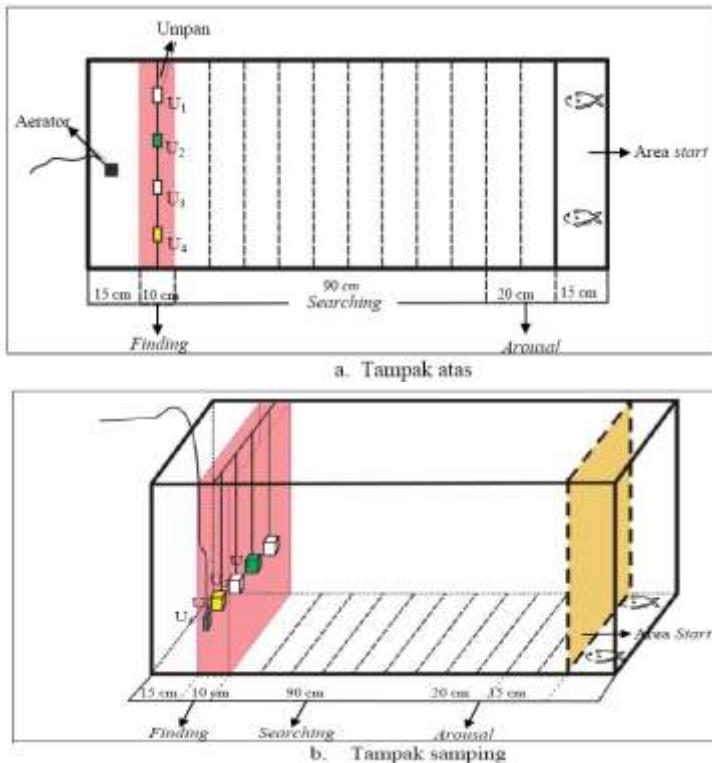
Data primer yang dikumpulkan meliputi data tingkah laku ikan mendekati umpan, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai umpan, komposisi bahan umpan buatan, kandungan proksimat (air, protein, dan lemak) dari formulasi umpan buatan.

Tahapan penelitian yang dilakukan sebagai berikut: menyiapkan akuarium perlakuan yang telah diisi air laut dan diberi aerator, kemudian sekat pembatas dipasang. Selanjutnya ikan kerapu macan dimasukkan kedalam akuarium untuk dipuaskan selama satu hari sebagai proses adaptasi dan orientasi terhadap lingkungan akuarium. Umpan diikat dengan benang pancing kemudian dimasukkan kedalam akuarium pada jarak 5 cm di depan sekat *fiberglass* atau 15 cm dari dinding akuarium. Ujicoba respons dimulai dengan pengambilan sekat secara perlahan-lahan agar ikan tidak kaget dan stres.

Pengambilan data dilakukan dengan dua kondisi perlakuan pencahayaan, yakni: kondisi tanpa cahaya dan cahaya redup. Pada saat kondisi tanpa cahaya bak fiber perlakuan dikelilingi oleh plastik mulsa untuk menciptakan ruang gelap. Ruang gelap dimaksudkan agar pada saat uji coba ikan hanya mengandalkan organ penciuman dalam mendekripsi umpan. Pada perlakuan dengan pencahayaan redup bak perlakuan tidak dipasangi dengan plastik mulsa. Pengambilan rekaman pada saat kondisi tanpa cahaya menggunakan video kamera dengan mode *night shoot*.

Ikan yang akan diuji sudah dipindahkan dari bak pemeliharaan ke bak perlakuan dan ikan sudah dilaparkan selama 3 x 24 jam. Pengujian diawali dengan menggiring ikan ke ujung bak perlakuan dan sekat dipasang. Umpan yang dipasang selama satu kali perlakuan ada empat jenis umpan dengan komposisi arginina dan leusina yang sama dengan tiga warna umpan yang berbeda dan satu umpan sebagai kontrol.

Pengamatan dilakukan dengan cara merekam tingkah laku ikan dalam mendekati umpan. Setiap perlakuan menggunakan 5 ekor ikan kerapu dengan 4 jenis umpan yang berbeda. Setiap *setting* dianggap sebagai satu ulangan dan tiap perlakuan diamati selama 1 jam. Setiap pergantian ulangan dilakukan pergantian air dalam bak agar kondisi air sama dengan kondisi awal penelitian. Data yang dikumpulkan untuk setiap perlakuan adalah data tingkah laku ikan mendekati umpan, waktu ikan mendekati umpan yang terbagi ke dalam 3 fase yaitu: (1) *Arousal* (menerima rangsangan), fase dimana ikan mulai beraksi karena adanya rangsangan bau, (2) *Searching* (mencari), fase dimana ikan mulai mencari makanan (umpan) hanya menggunakan organ penciumannya, dan (3) *Finding* (menemukan), ikan telah menemukan umpan dan melakukan *uptake* (mengambil/makanan umpan).



Gambar 1. Pembagian fase respons ikan terhadap umpan

Data tentang respons ikan kerapu mendekati umpan dianalisis secara deskriptif dengan menganalisis hasil rekaman tingkah laku ikan bagian-per bagian rekaman yang diputar (*frame by frame*). Data mengenai waktu respons *arousal*, *searching*, dan *finding* terhadap umpan merupakan nilai rataan yang ditampilkan dalam bentuk grafik secara sederhana sesuai dengan jenis umpan. Data tersebut selanjutnya dibandingkan secara statistik untuk mengetahui besarnya pengaruh perbedaan umpan terhadap waktu respons penciuman ikan kerapu macan dengan analisis ragam satu arah (ANOVA).

HASIL DAN PEMBAHASAN

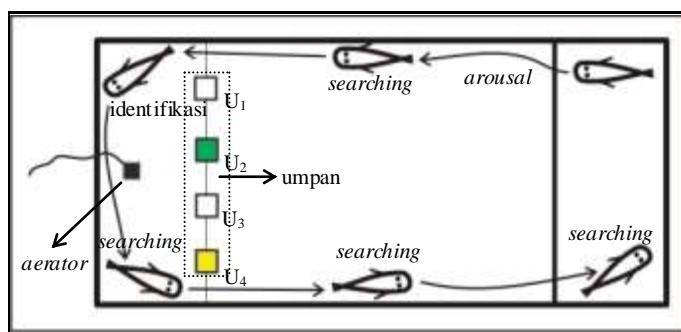
Tingkah laku ikan mendekati umpan buatan

Selama perlakuan dilakukan dengan dua kondisi pencahayaan, yaitu tanpa pencahayaan dan pencahayaan yang redup. Pada kondisi ada pencahayaan ikan menggunakan indera penglihatan dan penciuman dalam mendekripsi umpan, sedangkan pada kondisi tanpa pencahayaan ikan hanya menggunakan indera

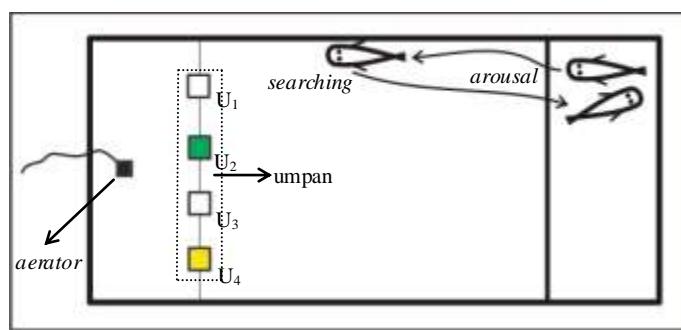
penciuman dalam mendekripsi umpan. Tingkah laku ikan dalam mendekati umpan dapat di bagi menjadi dua, yakni:

- 1) Tingkah laku ikan mendekati umpan dalam kondisi pencahayaan redup

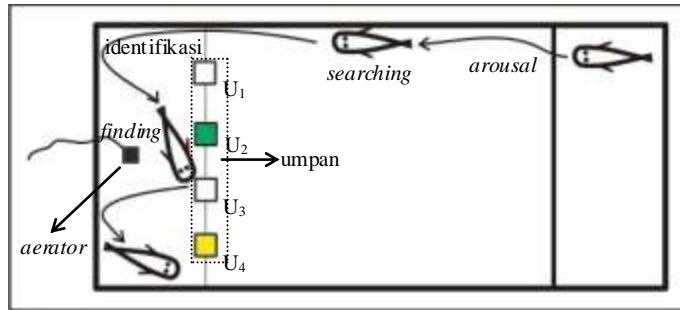
Posisi awal ikan sebelum sekat dibuka berada di pojok dan sudut bak perlakuan. Setelah sekat dibuka, ikan masih tetap dalam kondisi diam di pojok. Ikan satu demi satu mulai berenang menyusuri sisi bak perlakuan kurang lebih tiga menit setelah sekat dibuka. Ikan berenang menyusuri sisi dari ujung bak satu ke ujung bak yang lain dan ada pula yang berenang menyilang. Hal ini bisa dikarenakan ikan mulai beraksi terhadap umpan atau ikan hanya mulai mengadaptasikan diri dengan lingkungannya setelah sekat dibuka. Tingkah laku ikan ini dapat kita lihat pada Gambar 2a, 2b, dan 2c.



Gambar 2a. Pola tingkah laku ikan (1).



Gambar 2b. Pola tingkah laku ikan (2).



Gambar 2c Pola tingkah laku ikan (3).

Pola gerak tingkah laku ikan yang pertama dapat dilihat pada Gambar 2a, yang digambarkan dengan anak panah, dimulai dengan melakukan pergerakan menyusuri dinding bak perlakuan hingga kembali ke tempat semula. Dalam pendataan waktu yang diperoleh dimasukan ke dalam fase *arousal* ketika ikan mulai melewati area *start* dan fase *searching* ketika ikan mulai berada di sekitar umpan.

Pada Gambar 2b pola tingkah laku ikan berbeda dengan pola tingkah laku ikan yang pertama. Ikan tidak sampai melewati umpan, hanya berenang maju tidak jauh dari area start lalu kembali lagi ke posisi awal. Pada pola tingkah laku ikan ini data waktu yang didapatkan hanya sampai dengan fase *searching*.

Pola tingkah laku ikan yang ke tiga juga berbeda dengan yang lainnya. Pada pola ini menunjukkan bahwa ikan menyentuh umpan namun tidak sampai memakan umpan buatan warna putih. Setelah menyentuh umpan ikan kembali ke ujung bak. Ikan merespons sampai dengan fase *finding*. Pola tingkah laku ikan ini hanya terjadi sekali pada pengambilan data awal.

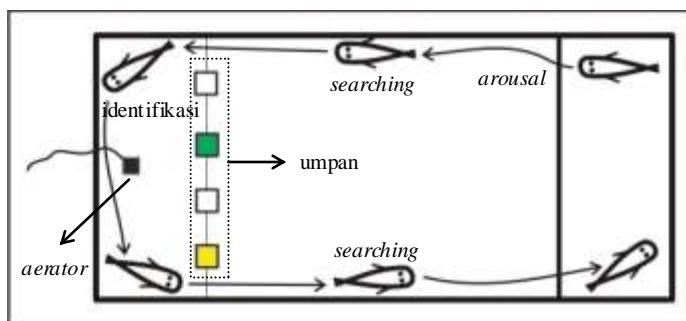
Pergerakan ikan mulai melewati area *start* disebut dengan fase *arousal*. Fase ini dimulai pada saat ikan mulai bereaksi terhadap rangsangan bau atau melihat umpan (Ferno dan Olsen, 1994). Hampir selama pengujian dengan umpan buatan ikan hanya sampai pada tahap *searching* yakni fase dimana ikan mulai mencari keberadaan umpan. Hanya pada pengujian awal ikan menyentuh umpan tetapi tidak sampai memakannya atau bisa disebut dengan fase *finding*. Hal ini dimungkinkan karena ikan menggunakan organ penglihatannya dalam

mendeteksi umpan. Untuk membuktikan hal di atas dilakukan pengujian dengan kondisi tanpa pencahayaan.

2) Tingkah laku ikan mendekati umpan dalam kondisi tanpa pencahayaan

Persiapan yang dilakukan saat perlakuan tanpa pencahayaan hampir sama dengan perlakuan dengan pencahayaan redup. Pembeda dari kedua perlakuan ini adalah bila tanpa pencahayaan bak perlakuan dipasangi plastik mulsa untuk menciptakan kondisi yang gelap. Pada kondisi tanpa pencahayaan ikan berenang menyusuri dinding-dinding bak dari ujung yang satu ke ujung yang lain. Hal ini diduga untuk mempermudah ikan dalam mengorientasikan diri dalam kondisi gelap.

Selama perlakuan dengan kondisi tanpa pencahayaan ikan hanya maju dan mundur berenang menyusuri dinding. Ikan tidak pernah menyentuh umpan. Akan tetapi selama pendataan kegiatan ini tetap dimasukan sampai dengan fase *searching*. Pada perlakuan kontrol, kondisi tanpa pencahayaan dan tanpa umpan setelah sekat dibuka ikan berenang maju dan mundur menyusuri dinding. Pergerakan ikan dalam kondisi tanpa pencahayaan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pola tingkah laku ikan.

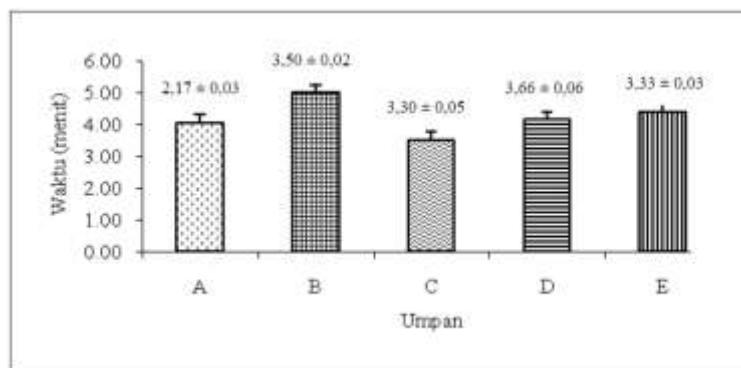
Respons ikan kerapu macan terhadap umpan buatan

Pendataan hasil pengujian respons ikan kerapu macan dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan fase, yakni:

1) Waktu rata-rata *arousal*

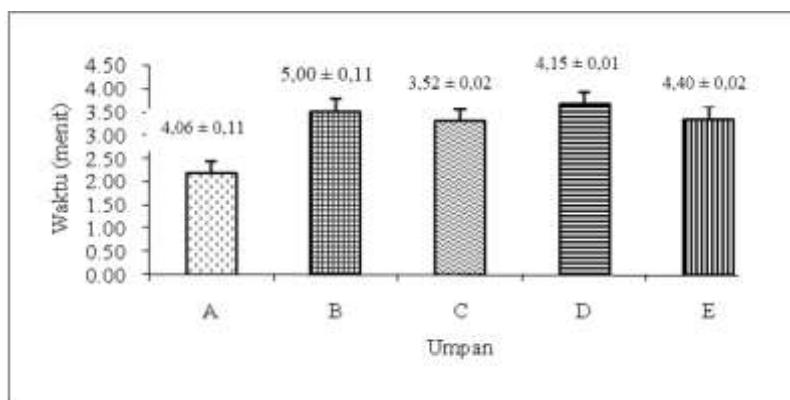
Waktu respons *arousal* adalah waktu pada saat ikan bergerak keluar dari area *start*. Waktu rata-rata *arousal* tercepat pada kondisi dengan pencahayaan terdapat pada umpan A, yaitu $2,17 \pm 0,03$ menit. Selanjutnya umpan C yaitu 3,30

$\pm 0,05$ menit, umpan E yaitu $3,33 \pm 0,03$ menit, umpan B yaitu $3,50 \pm 0,02$ menit dan terakhir umpan D yaitu $3,66 \pm 0,06$ menit. Pada perlakuan tanpa pencahayaan waktu rata-rata *arousal* tercepat adalah umpan C, yaitu $3,52 \pm 0,02$ menit, selanjutnya umpan A yaitu $4,06 \pm 0,11$ menit, umpan D yaitu $4,15 \pm 0,01$ menit, umpan E yaitu $4,40 \pm 0,02$ menit dan terakhir umpan B yaitu $5,00 \pm 0,11$ menit. Grafik data waktu *arousal* pada kondisi dengan pencahayaan dan tanpa pencahayaan dapat dilihat pada Gambar 4a dan 4b.



Keterangan: A= Arginina 0,38gr dan leusina 0,42gr; B= Arginina 0,38g dan leusina 0,54gr; C= Arginina 0,50 dan leusina 0,29gr; D= Arginina 0,50gr dan leusina 0,42gr; dan E= Arginina 0,50gr dan leusina 0,54gr.

Gambar 4a. Grafik data waktu *arousal* kondisi dengan pencahayaan.

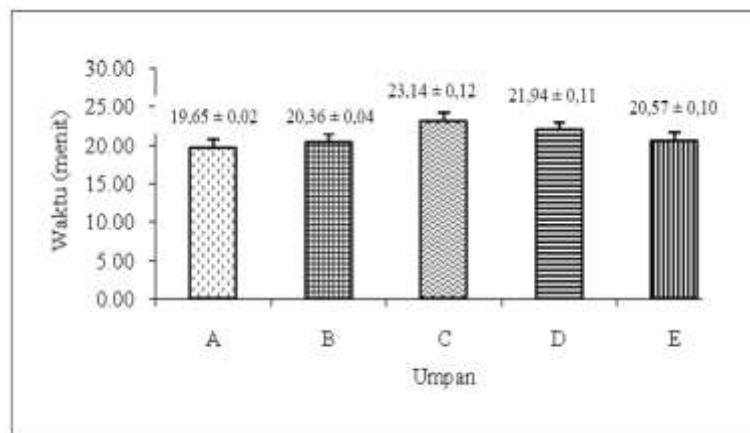


Gambar 4b. Grafik data waktu *arousal* kondisi tanpa pencahayaan.

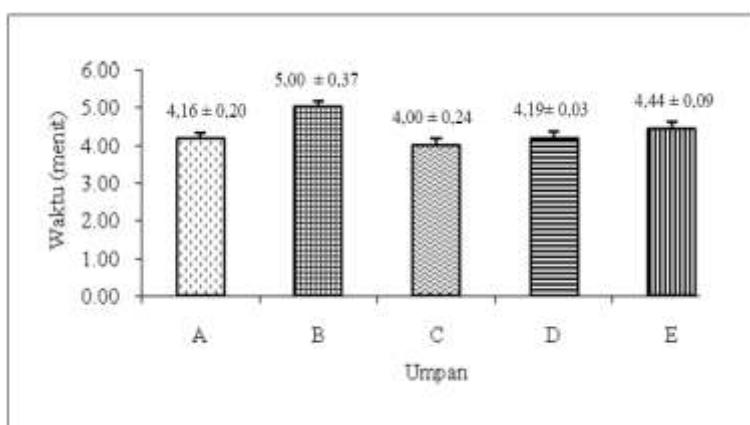
2) Waktu rata-rata *searching*

Waktu *searching* adalah waktu yang dicatat pada saat ikan mulai bergerak kembali untuk menemukan keberadaan umpan. Setelah sebelumnya melakukan

arousal dan berhenti sejenak di depan area start untuk identifikasi umpan. Waktu rata-rata *searching* tercepat pada kondisi dengan pencahayaan terdapat pada umpan A, yaitu $19,65 \pm 0,12$ menit, selanjutnya umpan B yaitu $20,36 \pm 0,04$ menit, umpan E yaitu $20,57 \pm 0,10$ menit, umpan D yaitu $21,94 \pm 0,11$ menit dan terakhir umpan C yaitu $23,14 \pm 0,12$ menit. Pada perlakuan tanpa pencahayaan waktu rata-rata *searching* tercepat pada umpan C, yaitu $4,00 \pm 0,24$ menit, selanjutnya umpan D yaitu $4,19 \pm 0,03$ menit, umpan E yaitu $4,44 \pm 0,09$ menit, umpan A yaitu $4,16 \pm 0,10$ menit dan terakhir umpan B yaitu $5,00 \pm 0,37$ menit. Grafik waktu *searching* pada kondisi dengan pencahayaan dan kondisi tanpa pencahayaan dapat dilihat pada Gambar 5a dan 5b.



Gambar 5a. Grafik waktu *searching* kondisi dengan pencahayaan.



Gambar 5b. Grafik waktu *searching* kondisi tanpa pencahayaan.

3) Data waktu *finding*

Waktu *finding* adalah waktu yang dicatat pada saat ikan telah menemukan umpan yang kemudian langsung memakannya atau hanya menyentuhnya saja. Pada saat perlakuan dengan kondisi tanpa pencahayaan ikan hanya merespons sampai dengan tahap *searching*. Ikan tidak memakan atau bahkan menyentuh umpan. Fase *finding* ikan hanya terjadi satu kali selama pengujian, yaitu pada waktu pengujian awal dengan kondisi terdapat pencahayaan. Pengujian selanjutnya ikan tidak pernah sampai pada tahap *finding*. Waktu *finding* 23,39 menit terhadap umpan A.

Jika dibandingkan dengan waktu rata-rata *arousal* dan *searching* yang disajikan pada Gambar 4a dan 5a didapatkan waktu rata-rata *arousal* dan *searching* pada umpan A memiliki waktu tercepat dibandingkan keempat umpan lainnya. Pengujian selanjutnya waktu rata-rata *arousal* dan *searching* mengalami penurunan. Hal ini mungkin disebabkan oleh ikan yang sudah terbiasa dengan umpan yang diberikan.

Data yang didapatkan dari hasil pengujian memperlihatkan ikan kurang merespon umpan buatan yang terdiri dari arginina dan leusina. Pengujian tambahan dilakukan untuk lebih meyakinkan bahwa ikan kurang menyukai umpan buatan, yaitu melakukan uji dengan melemparkan pakan dan umpan buatan ke dalam bak perlakuan. Pada awal perlakuan umpan buatan yang dilempar lebih dahulu kemudian setelah itu pakan yang dilemparkan. Hasil pengamatan terlihat bahwa ikan langsung menyambut pakan dan umpan buatan, namun terdapat perbedaan respons, jika yang dilemparkan adalah pakan ikan maka ikan langsung menyambut dan memakannya. Jika yang dilemparkan umpan buatan ikan hanya menyentuh saja tidak sampai memakannya. Hal ini diduga karena ikan dapat mengidentifikasi umpan bauatan yang tidak memikat untuk dimakan.

Pengaruh perbedaan jenis umpan terhadap waktu respons penciuman

Hasil uji ANOVA menunjukkan adanya pengaruh nyata antara jenis umpan baik dengan waktu *arousal* maupun waktu *searching*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi yang lebih kecil dibandingkan 0,05 (sig. < 0,05) dan F_{hitung} yang

lebih besar daripada F_{tabel} ($F_{hitung} > F_{tabel}$). Perbedaan yang tidak berpengaruh nyata hanya terjadi pada pengaruh jenis umpan terhadap waktu *finding* pada kondisi dengan pencahayaan. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai signifikansi yang lebih besar dari 0,05 (sig. $> 0,05$) dan nilai F_{hitung} yang lebih kecil dibandingkan F_{tabel} ($F_{hitung} < F_{tabel}$).

Perbedaan umpan terhadap waktu respons *finding* tidak memberikan pengaruh nyata. Hal ini disebabkan oleh data waktu *finding* yang didapat memiliki nilai yang hampir seluruhnya sama. Ikan tidak merespons umpan buatan sampai dengan fase *finding*. Ikan merespons sampai menyentuh umpan pada awal pengambilan data dan hanya sekali selama penelitian.

Semua tahapan pengujian umpan buatan terhadap respons ikan menunjukkan ikan kerapu macan menggunakan indera penglihatan dan penciuman dalam mendekripsi umpan. Bau dari umpan buatan yang digunakan tidak menarik indera penciuman ikan. Jarak pemasangan umpan buatan yang diujikan masih terlalu dekat dengan area start menyebabkan ikan merespons umpan dikarenakan indera penglihatannya. Jarak maksimum penglihatan ikan kerapu macan sejauh 4 m pada kondisi perairan yang cerah (Natsir, 2008).

Menurut Bone dan Marshall (1982) otak merupakan cerminan berkembang tidaknya fungsi organ-organ sensoris pada hewan. Otak ikan memiliki bagian-bagian yang menunjukkan susunan yang berbeda pada kelompoknya. Hasil penelitian Sejati (2008) dan Fitri (2008), otak *Epinephelus fuscoguttatus* memiliki bagian *telencephalon* berukuran besar, demikian juga pada bagian *optic tectum*. *Cerebellum* melengkung ke atas dan di belakang *cerebellum* ditemukan *medulla oblongata*. *Telencephalon* merupakan pusat penciuman pada bagian otak depan dan *optic tectum* merupakan merupakan bagian otak yang berhubungan dengan penglihatan (Bone dan Marshall, 1982). Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa ikan kerapu macan mengandalkan kedua organ baik organ penglihatan maupun organ penciuman.

KESIMPULAN

- 1) Pola pergerakan ikan kerapu macan dalam merespons umpan buatan (arginina dan leusina) terdapat tiga pola, yaitu pertama ikan berenang menyusuri dinding bak; kedua ikan berenang menyusuri dinding bak kemudian melakukan identifikasi terhadap umpan; dan yang ketiga ikan menyusuri dinding bak, mengidentifikasi dan menemukan umpan namun ikan tidak memakannya.
- 2) Pada kondisi dengan pencahayaan ikan merespons umpan sampai dengan fase *finding*, sedangkan pada kondisi tanpa pencahayaan ikan hanya merespons sampai dengan fase *searching*. Berdasarkan penghitungan waktu rata-rata respons *arousal* dan *searching* didapatkan hasil waktu respons tercepat terdapat pada umpan A.
- 3) Perbedaan umpan buatan memberikan pengaruh nyata terhadap waktu respons *arousal* dan *searching* baik pada kondisi dengan pencahayaan maupun tanpa pencahayaan. Namun perbedaan umpan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap waktu respons *finding* pada kondisi pencahayaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari hasil riset Pengembangan Umpan Buatan (Artificial Bait) untuk Meningkatkan Efektivitas Penangkapan Ikan, Program Hibah Kompetensi Dikti Tahun 2009 yang diketuai oleh Prof. Dr. Ir. Ari Purbayanto, M.Sc. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini, LPPM IPB yang telah memfasilitasi bagi terlaksananya penelitian ini dan seluruh pihak yang telah memberikan bantuannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bone Q dan Marshall NB. 1982. *Biology of Fishes*. Glasgow. London:Blakcie and Sons Ltd.
- [DKP]. 2006. Statistik Perikanan Tangkap Indonesia. Direktorat Jendral Perikanan Tangkap. Departemen Kelautan dan Perikanan. Jakarta.

- Engas A and Lokkeborg S. 1994. *Abundance Estimation using Bottom Gillnet and Longline – The Role of Fish Behavior*. Di dalam Ferno, Aand Olsen, S. editor. *Marine Fish Behavior in Capture and Abundance Estimation*. Fishing News Books. Pp:134-165.
- Ferno A dan Olsen S. 1994. *Marine Fish Behavior and Abundance Estimation*. Fishing News Books, England. 221 hlm.
- Fitri ADP. 2008. Respons Penglihatan dan Penciuman Ikan terhadap Umpang Terkait dengan Efektivitas Penangkapan [Disertasi]. Bogor:Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Natsir DSS. 2008. Analisis Indera Penglihatan Ikan Kerapu Macan dan Hubungannya dalam Merespons Umpang [Skripsi]. Bogor: Fakultas Perikanan dan Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Riyanto M, Purbayanto A dan Wiryawan B. 2010. Respons ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) terhadap umpan buatan. Jurnal Penelitian Ilmu Perikanan Vol 16 No 1., Pusat Riset Perikanan Tangkap. Jakarta. Hal 75-85.
- Riyanto M. 2008. Respons Penciuman Ikan Kerapu Macan terhadap Umpang Buatan [Tesis]. Bogor:Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Sejati DB. 2008. Respons Penciuman Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) terhadap umpan Pengujian Skala laboratorium [Skripsi]. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Soleiman. 9 Agustus 2007. Embargo Cina Rugikan Indonesia US\$ 27.9 Juta. Harian Sinar Indonesia Baru.
- Syafrie H. 2008. Uji Coba Umpang Tiruan pada Penangkapan Ikan dengan Huhate di Perairan Bau-Bau Sulawesi Tenggara [Skripsi]. Bogor:Fakultas Perikanan dan Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

DESAIN DAN PENGUJIAN KINERJA PENGGETAR STRUKTUR UNTUK MENURUNKAN DRAFT BAJAK MOL

(Design and performance test of structural vibration to reduce draft of mole plow)

Radite P.A.S¹⁾, Soeharsono²⁾

¹⁾Dep. Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB

²⁾Staf Pengajar, Jurusan Teknik Mesin, FTI, Universitas Trisakti, Jakarta.

ABSTRAK

Paper ini membahas tentang penerapan getaran struktur untuk menurunkan tahanan tarik pada operasi bajak mol. Umumnya aplikasi getaran untuk menurunkan tahanan tarik alat pengolah tanah dalam seperti bajak subsoil maupun bajak mol dilakukan dengan cara penggetaran langsung pada bagian batang atau *shank* maupun pada bagian sayap atau *wing*. Teknik penggetaran seperti itu terbukti cukup efektif dapat menurunkan tahanan tarik antara 20-60% namun punya kelemahan yaitu membutuhkan energi kinetik penggetaran yang besar. Dalam penelitian ini digunakan teknik penggetaran struktur pada frekuensi mendekati “resonansi mekanis”, sehingga dihasilkan getaran *shank* yang memadai pada energi getar yang minimal. Desain struktur penggetar dan *shank* dari bajak mol ini dirancang agar ber-resonansi pada kisaran putaran dari PTO traktor. Hasil pengujian lapang menggunakan traktor 4-roda 72 hp pada kedalaman olah antara 36 – 44 cm menunjukkan bahwa bajak mol dapat bergetar dengan baik pada frekuensi getar antara 4.5 - 17.5 Hz. Hasil pengukuran tahanan tarik menunjukkan bahwa frekuensi getar yang efektif adalah antara 7.0 – 12.0 Hz, dimana terjadi penurunan tahanan tarik antara 18.2 - 23.6 %. Penurunan draft terbesar sebesar 23.6% terjadi pada frekuensi getar 9.0 Hz. Frekuensi ini sesuai dengan kisaran operasi PTO traktor level kecepatan-1 yakni sekitar 540 rpm.

Kata kunci : Penggetaran struktur, bajak getar, bajak mol, resonansi mekanis.

ABSTRACT

This paper discuss about the application of structural vibration to reduce draft on mole plow operation. Usually application of vibration to reduce draft of deep soil tillage implements such as subsoiler or mole plow is done by direct vibration on subsoiler's shank or through subsoiler's wing. This kind of technique is proven effective in decreasing draft in the range of 20-60% but has drawback that is needed huge kinetic energy. In this research structural vibration technique was utilized where the mole plow structure was vibrated to reach near resonance condition so that kinetic energy of vibration could be minimized. The mole plow structure was designed to have resonance frequency at tractor PTO speed. Result of the tests by pulling the prototype using 72 hp 4wheel 2WD tractor at depth of operation 36-44 cm showed that the shank of mole plow could vibrate well at tested frequency between 4.5 to 17.5 Hz. Vibration at frequency 7 to 12 Hz was most effective since draft reduction in the range of 18.2 to 23.6%. Maximum draft reduction achieved about 23.6 % at vibration frequency of 9 Hz. This frequency match frequency of 1st PTO tractor' speed that is about 540 rpm.

Keywords : Structural vibration, vibratory plow, mole plow, mechanical resonance.

PENDAHULUAN

Di masa depan, pembukaan lahan basah baik yang berupa daerah pasang surut maupun berupa daerah rawa merupakan potensi perluasan daerah pertanian baru di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan pangan dan energi yang semakin meningkat seiring dengan pertambahan penduduk. Pekerjaan pembukaan lahan basah untuk daerah pertanian baru relatif lebih sulit dibandingkan dengan membuka daerah pertanian di lahan kering, karena disamping pembersihan dari tanaman keras juga diperlukan sistem irigasi dan drainase yang terkontrol untuk mengendalikan muka air tanah. Pengendalian air ini penting untuk membuang kelebihan air di musim hujan, untuk mengalirkan air di musim kemarau, juga dalam jangka panjang penting untuk tujuan pencucian (*leaching*) tanah terutama pada daerah-daerah yang mengalami problema salinitas maupun kemasaman seperti umumnya di daerah rawa dan pasang surut. Menurut Christen (1995) dan Bennet (2004), drainase tanah sangat penting fungsinya dalam pengendalian muka air tanah, dan beberapa tempat di dunia ini menentukan keberhasilan konversi lahan basah menjadi lahan pertanian.

Pada prinsipnya drainase ini dapat dilakukan dengan saluran drainase kanal terbuka atau melalui saluran-saluran tertutup berupa kanal-kanal pembuangan yang dikonstruksi dibawah permukaan tanah. Saluran tertutup berupa lorong-lorong dibawah permukaan lebih menguntungkan dibandingkan dengan saluran terbuka yang berupa parit-parit yang membelah lahan karena mobilitas traktor traktor tidak terganggu. Pada lahan dengan liat berat dengan curah hujan tinggi, umumnya digunakan saluran drainase bawah permukaan atau biasa dinamakan saluran drainasi mole (*mole drainage channel*). Pembuatan saluran drainase bawah permukaan berupa lorong-lorong (*mole channel*), dilakukan dengan menggunakan *mole plow* yang ditarik oleh traktor 4-roda. Umumnya saluran ini mempunyai diameter 75-100 mm, dan masing-masing lorong terpisah pada jarak antara 2 sampai 10 m pada kedalaman 400 – 600 mm dari permukaan tanah. Karena merupakan “pengolahan tanah dalam” pada kondisi lahan yang umumnya bertekstur liat berat, pekerjaan pembuatan saluran drainase dengan *mole plow* mempunyai draft yang tinggi (Tupper, 1997) sehingga diperlukan traktor dengan daya besar umumnya lebih dari 140 hp untuk satu alur.

Pemanfaatan PTO traktor untuk menurunkan draft peralatan pengolah tanah merupakan salah satu topik penelitian yang telah banyak dikembangkan hingga saat ini. Teknik yang dipergunakan pun beragam antara lain dengan cara pemutaran paksa (misalnya, alat pengolah tanah tipe rotari, *powered disk plow/harrow, gyro tiller* dsb), dengan pelumasan (pelumasan cairan bertekanan, pelumasan elektro-osmotik, pelumasan udara bertekanan, dsb), dan dengan cara penggetaran. Penggunaan getaran dengan cara menggetarkan bagian pemotong dari alat pengolah tanah bukan merupakan hal baru, dan sudah diteliti orang sejak beberapa dekade lalu, misalnya penelitian model bajak telah yang digetarkan (Gunn dan Tramontini ,1955). Namun demikian, aplikasi dalam bentuk pengembangan desain/prototip dengan teknik-teknik yang lebih efisien masih diteliti orang hingga saat ini seperti (Karoonboonyanan, 2007, Radite 2003, Niyamapa, 2000, Bandalan, 1999, dan sebagainya).

Penelitian dan pengembangan terus dilakukan untuk mendapatkan desain yang efektif, khususnya terkait akan 2 hal yaitu bagaimana menurunkan transmisibilitas imbas getaran yang diteruskan ke bodi traktor dan bagaimana menurunkan konsumsi energi total. Beberapa peneliti melaporkan bahwa konsumsi energi total pada alat pengolah tanah yang digetarkan justru meningkat 1.4 – 2 kali (Butson, 1981, Kawamura, 1986, Bandalan, 1999, Niyamapa, 2000, Karoonboonyanan, 2007).

Disamping itu getaran juga dapat berfungsi sebagai gelombang pembawa, sifat interferensi, dan resonansi. Sifat-sifat ini telah diterapkan dalam kehidupan sehari-hari, antara lain fungsinya gelombang *carrier* atau pembawa informasi (misalnya pada pengiriman sinyal radio, komunikasi nir kabel, dsb), sifat pelemahan atau interferensi yang banyak diterapkan dalam peredaman suara (misalnya, peredam suara enjin atau knalpot, *active noise cancelation*, dsb), dan sifat penguatan atau resonansi yang telah diterapkan dalam peningkatan efisiensi penyuluran daya listrik (transformator, lampu hemat energi, dsb) maupun dalam efisiensi penyuluran daya mekanis (misalnya kompaktor, vibrator *stoomwals*, pengayak, dsb).

Resonansi mekanis terjadi jika suatu sistem mekanis digetarkan pada

frekuensi alaminya. Secara teoritis, pada kondisi resonansi ($\omega = \omega_n$) maka benda akan bergetar dengan amplitudo yang sangat besar walaupun mendapat input energi getar yang kecil.

Terkait dengan penelitian ini, teknik resonansi mekanis dipilih karena secara teoritis kekuatan getar yang memadai dapat dihasilkan dengan energi sumber getar yang paling minimal,

Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah melakukan rekayasa penggetar untuk menurunkan tahanan tarik (draft) pada operasi pembuatan saluran bawah permukaan menggunakan *mole plow*. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah mendesain, membuat dan menguji coba bajak mole dengan rangka tarik bajak mol yang menerapkan teknik resonansi mekanis sehingga energi penggetaran dapat diminimumkan.

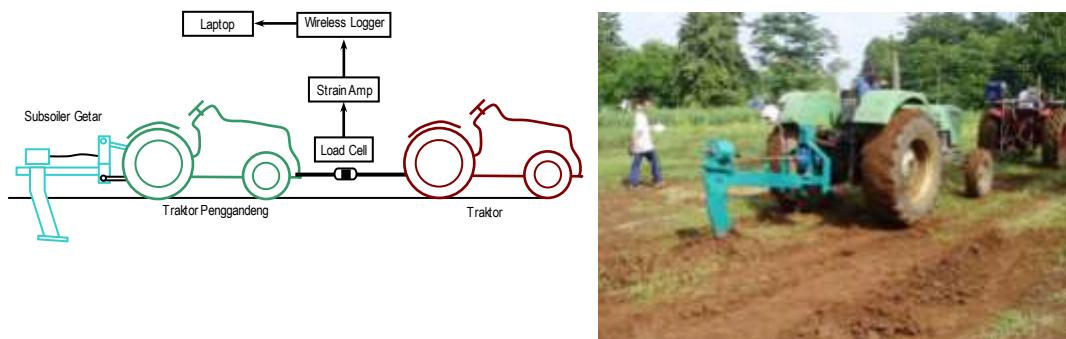
METODE PENELITIAN

Bahan penelitian ini adalah prototip bajak *mole* dengan penggetaran struktur hasil rekayasa dari penelitian sebelumnya (Radite, 2009). Dalam penelitian ini parameter yang akan diukur antara lain kecepatan maju traktor (V dalam km/jam), kedalaman operasi (d dalam cm), gaya tarikan mole plow atau draft (F dalam Newton), dan frekuensi getar (f dalam Hertz).

Peralatan pengukuran yang digunakan dalam antara lain *stopwatch* sebagai alat ukur waktu, meteran sebagai alat ukur panjang, alat tulis dan perlengkapan bantu pengukuran lainnya. Instrumen yang digunakan adalah *Tachometer digital* (Kyowa,) sebagai alat pengukur kecepatan putaran dari motor *exciter*, dan *load cell* untuk mengukur tahanan tarik dari bajak.

Pengukuran draft

Pengujian lapang dilakukan di kebun percobaan Departemen Teknik Pertanian IPB di Leuwikopo. Pengujian menggunakan Traktor 4 roda 2 WD 70 hp. Pengukuran draft dilakukan dengan menggunakan load cell (Kyowa 5T) dan *dynamic strain amplifier*.



Gambar 2. Prototip dalam pengujian lapang

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2, data dari *dynamic strain amplifier* diubah menjadi data digital dengan menggunakan ADC kemudian dikirimkan secara *wireless* menggunakan protokol *bluetooth* ke komputer laptop sehingga hasil pengukuran dapat ditampilkan di layar monitor, dan disimpan dalam *hardisk*.

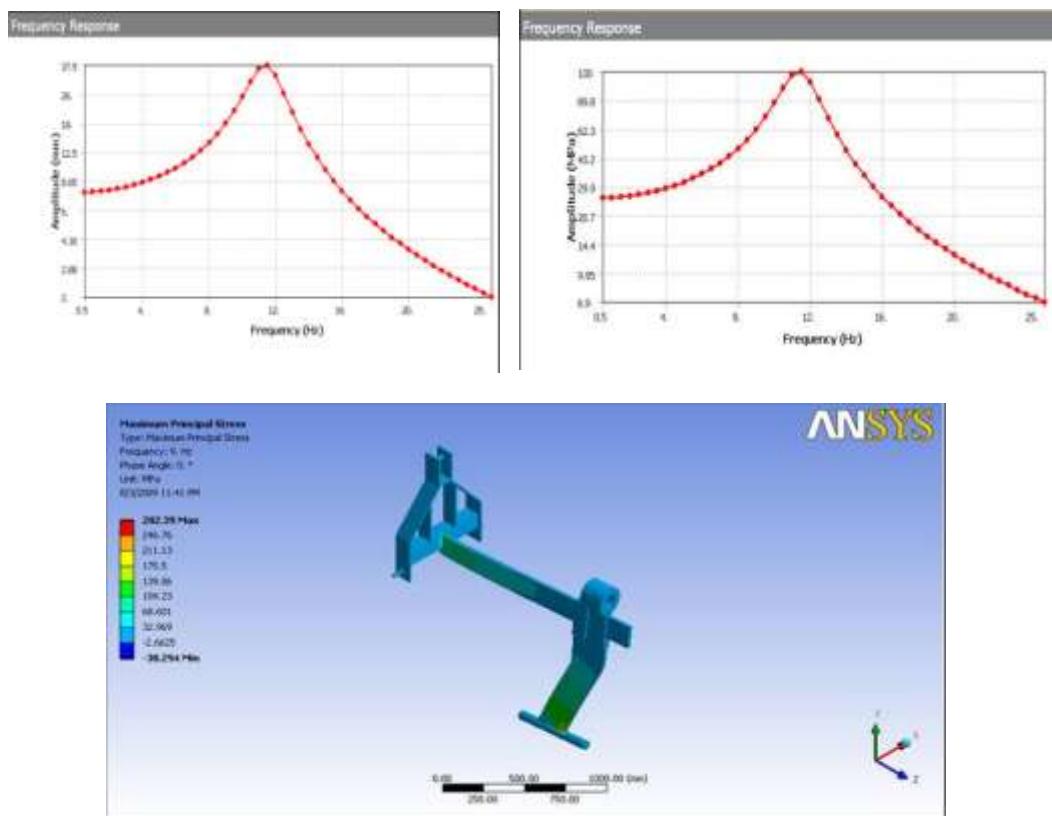
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi dengan *finite element*

Simulasi getaran struktur dengan metoda *finite element* dilakukan menggunakan ANSYS. Simulasi ini diperlukan untuk mendapatkan respon yang memenuhi kriteria yang diinginkan dalam desain bajak mole plow getar ini, yaitu :

- 1) Amplitudo getaran yang terjadi pada shank tidak kurang dari 10 mm
- 2) Frekuensi operasi yang diinginkan adalah sekitar 9 Hz atau 540 rpm
- 3) *Principle stress* yang terjadi harus lebih kecil dari 250 MPa.

Dalam simulasi ini digunakan asumsi sebagai berikut : 1) penyambungan 3 titik gandeng dengan ikatan tetap (*fix*), 2) batang kantilever sebagai pegas, 3) sepatu *mole plow* terjepit dalam tanah namun bebas bergerak kearah depan, 4) shan terjepit tanah pada kedalaman 40 cm, 5) Tanah dimodelkan sebagai elastic support, dan 6) *exciter* ditempatkan di batang kantilever. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 4, dimana getaran efektif dapat terjadi pada frekuensi induksi antara 9 – 14 Hz. Pada frekuensi sekitar 11.5 Hz terjadi resonansi mekanis namun *principle stress* maksimum masih sekitar 130 MPa.



Gambar 3. Pengaruh frekuensi getar terhadap amplitudo getar (mm) dan amplitudo tegangan maksimum (Mpa)

Hasil Pengujian Lapang

Sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan secara statis (Radite 2009), pengujian di lahan juga menghasilkan penggetaran *shank* yang efektif pada kisaran frekuensi yang hampir mirip. Pengujian di lahan dilakukan dengan menggetarkan *exciter* pada frekuensi 4.5, 7.0, 9.0, 12, 15 dan 17.5 Hz.

Tabel 1. Pengaruh frekuensi getar terhadap draft mole plow

Kec (km/jam)	Freq (hz)	Kedalaman operasi (cm)	Draft rata-rata (N)	Penurunan draft (%)
1.80	0.0	38.0	12 076	
1.67	4.5	35.5	11 803	2.0
1.79	7.0	40.8	9 460	19.6
1.61	9.0	42.1	8 926	23.6
1.76	12.0	43.9	9 653	18.2
1.80	15.0	43.2	11 658	3.1

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tergantung dari frekuensi getaran induksinya, (atau getaran dari exciter) pola getaran yang terjadi pada shank akibat adanya penggetaran struktur (batang kantilever) juga berbeda-beda. Hasil pengujian lapang ini sejalan dengan hasil simulasi (dengan finite elemen), dimana moda getaran shank juga berubah tergantung dari nilai frekuensi getaran yang diinduksikan. Pada frekuensi exciter dibawah 12 Hz getaran *shank* lebih dominan ke arah samping kiri-kanan. Sedangkan pada frekuensi exciter antara 15.0 – 17.5 Hz pola getaran yang ditimbulkan berupa orbital yakni gerakan *shank* ke arah atas-bawah dan arah ke samping kiri-kanan.

Penggetaran *shank* ke arah samping kiri dan kanan dapat berakibat mengurangi kontak antara shank dan permukaan tanah, sehingga tahanan gesek berkurang. Sedangkan getaran dari shank ke arah keatas-bawah dapat meningkatkan penggemburan tanah. Secara bersama-sama adanya gerakan dari *shank* kearah atas-bawah dan ke arah samping kiri-kanan dapat diduga menurunkan draft dari *mole plow*., karena tanahnya sudah menjadi gembur. Seperti ditunjukkan pada Tabel 1, frekuensi getar yang efektif terhadap mole getar ini berkisar antar 7 Hz sampai dengan 12 Hz, dimana aplikasi getaran dapat menurunkan draft antara 18.2-23.6 %. Penurunan draft terbesar sebesar 23.6% terjadi pada frekuensi getar 9 Hz. Kisaran frekuensi ini merupakan hasil desain yang telah disesuaian dengan kisaran operasi PTO traktor yakni pada kecepatan putar di ekitar 540 rpm.

Kedalaman operasi dari *mole plow* juga meningkat jika mole plow ditarik oleh traktor sambil digetarkan. Pada saat digetarkan antara 4.5 - 17.5 Hz, mole plow dapat beroperasi pada kisaran kedalaman operasi antara 36 - 44 cm. Sedangkan jika tidak digetarkan kedalaman operasi mole plow berkisar antara 35-40 cm. Hasil pengukuran tahanan tarik seperti ditunjukkan pada Tabel 1, frekuensi getar yang efektif adalah antara 7.0 – 12.0 Hz, dimana terjadi penurunan tahanan tarik antara 18.2 - 23.6 %. Penurunan draft terbesar sebesar 23.6% terjadi pada frekuensi getar 9.0 Hz. Frekuensi ini sesuai dengan kisaran operasi PTO traktor tingkat-1 yakni kecepatan putar sekitar 540 rpm.

Terdapat kecenderungan bahwa semakin tinggi frekuensi getaran, maka

energi kinetis yang diperlukan untuk menggetarkan struktur bajak mol juga semakin meningkat. Nilai ini sejalan dengan kajian teoritis bahwa suatu benda yang berputar energi kinetisnya setara dengan $\sim(2\pi af)^2$.

Pada frekuensi antara 7 Hz sampai dengan 12 Hz dapat dikatakan bahwa getaran struktur cukup efektif dalam menurunkan energi getar, dimana penurunan draft masih lebih besar dibandingkan dengan % kenaikan daya kinetis. Pada penggetaran dengan frekuensi 15 Hz tidak efektif karena peningkatan daya kinetis sebesar 10.9% hanya menghasilkan penurunan daya sebesar 3.1%. Jika dilihat dari efektifitas penggunaan daya kinetis, maka frekuensi 7Hz paling baik karena mempunyai rasio penurunan draft terhadap peningkatan daya kinetis sebesar 6.76 kali, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daya motor vs penurunan draft pada operasi bajak mol

Frekuensi getar (Hz)	Daya Mekanis (W)	Daya motor (W)	Peningkatan daya kinetis* (%)	Penurunan draft (%)	Rasio
	a	b	c = a/b	d	d/c
0	6,038	0	0	0	-
4.5	5,475	132	2.2	2	0.91
7.0	4,704	176	2.9	19.6	6.76
9.0	3,992	251	4.2	23.6	5.62
12	4,719	368	6.1	18.2	2.98
15	5,829	659	10.9	3.1	0.28

*) Daya motor dibagi dengan daya mekanis tanpa penggetaran

KESIMPULAN

- 1) Penggetaran struktur pada frekuensi yang tepat dapat memberikan cukup energi untuk menggetarkan seluruh struktur menggunakan level energy yang minimum.
- 2) Perubahan frekuensi getar akan menimbulkan pola getaran yang berubah. Pada frekuensi exciter dibawah 12 Hz getaran *shank* lebih dominan ke arah samping kiri-kanan. Sedangkan pada frekuensi exciter antara 15.0 – 17.5 Hz pola getaran yang ditimbulkan berupa orbital yakni gerakan *shank* ke arah atas-bawah dan arah ke samping kiri-kanan.
- 3) Desain bajak mol yang dikembangkan ini mempunyai respon frekuensi getar yang efektif antar 7 Hz sampai dengan 12 Hz. Pada kisaran getaran ini

penurunan draft yang terjadi berkisar antara 18.2 - 23.6 %. Penurunan draft terbesar yaitu rata-rata 23.6% terjadi pada frekuensi getar 9Hz. Dengan demikian prototip ini cocok untuk dioperasikan dari sumber tenaga PTO traktor pada 540 rpm.

- 4) Pada frekuensi antara 7 Hz sampai dengan 12 Hz getaran struktur cukup efektif dalam menurunkan energi getar, dimana penurunan draft masih lebih besar dibandingkan dengan % kenaikan daya kinetis. Penggetaran dengan frekuensi 15 Hz paling tidak efektif karena peningkatan daya kinetis sebesar 10.9% hanya menghasilkan penurunan daya sebesar 3.1% .

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DP2M) Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, KemenDikNas Republik Indonesia atas hibahdana penelitian melalui skema Hibah Kompetensi Batch I tahun 2008- 2010 sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Radite, P.A.S., Soeharsono. 2009. Rekayasa Penggetar Struktur Untuk Mole Plow Getar (*Design of Structural Vibration for Vibratory Mole Plow*). Proc. Seminar Nasional PERTETA Cabang Mataram, Agustus 2009.
- R. Karoonboonyanan, V. M. Salokhe, T. Niyamapa, H. Nakashima. 2007. Vibration effects on the performance of a single-shank subsoiler, Agricultural Engineering International: the CIGR E-journal, Manuscript PM 07 018, Vol. IX, September, 2007.
- Bennett, D., R. George and B. Russell. 2004. Mole Drainage For Increased Productivity In The South West Irrigation Area. Bulletin 4610. State Of Western Australia.
- Radite, P.A.S, Wawan H. dan I N. Suastawa, 2003, Pengembangan Subsoiler Getar 2-Bajak. Jurnal Ilmiah Pertanian GAKURYOKU, Vol.IX No.2, 181-186
- Radite, P.A.S, Wawan H., I N Suastawa,E.N. Sembiring, 2001. Penurunan Tahanan Tarik Bajak Subsoil Dengan Penggetaran. Lab. Teknik Mesin Budidaya Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, IPB. ISBN 979-95521-2-5.

- Niyamapa T. and V.M. Salokhe M. V., 2000. Soil Disturbance And Force Mechanics of Vibrating Tillage Tool, Journal of Terramechanics 37, 151-166
- Bandalan E.P., Salokhe V.M., Gupta C.P., Niyamapa T., 1999, Performance of an oscillating subsoiler in breaking a hardpan. Journal of Terramechanics 36, 117-125
- Tupper, G.R. 1997. Low Till Parabolic Subsoiler: A New Design for Reduce Soil Surface Disturbance and Power Requirement. Bulletin 858. Miss. Agric. and Forestry Exp. Sta. Miss. State Mississippi.
- Christen, E.W. 1995. The Potential Of Mole Drainage To Control Waterlogging In Rice Based Irrigated Agriculture: An Australian Case Study. CSIRO Land and Water, Griffith, NSW, 2680, Australia
- Inoue, H and K. Tokunaga. 1995. Soil and Water Management. Paddy Field in The World (Part II Paddy Field Engineering) . Published by The Japanese Society of Irrigation and Drainage and Reclamation Engineering. JSIDRE.
- Gunn, J.T. and V.N. Tramontini. (1955). Oscillating of tillage implement. Agric. Engn., 30 (11): 725-729.

**EVALUASI VALUE CHAIN PENERAPAN RANCANGAN KEMASAN
BUAH MANGGIS PADA SISTEM RANTAI PASOK EKSPOR
BUAH EKSOTIK INDONESIA**

(Value Chain Evaluation of Implementation the Mangosteen Packaging Design on Export Supply Chain of Indonesian Exotic Fruit)

Sutrisno¹⁾, Emmy Darmawati¹⁾, Sugiyono¹⁾

¹⁾Dep. Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian IPB

ABSTRAK

Penurunan kualitas buah manggis selama ekspor terjadi pada tahap transportasi dari sentra produksi ke pelabuhan serta selama pengangkutan menuju negara tujuan. Saat ini, penanganan produk pada rantai pasok ekspor buah-buahan terjadi kerusakan hingga 20%. Tujuan penelitian adalah mengembangkan kemasan buah manggis untuk ekspor dan mengevaluasi nilai tambah penerapan pascapanen yang baik pada rantai pasok ekspor manggis. Kemasan hasil rancangan menggunakan karton gelombang dengan tipe C-flute dan BC-flute mempunyai kekuatan tekan sebesar 474.5 kgf dan 663.2 kgf. Berdasarkan kapasitas, kekuatan tekan kemasan serta faktor keamanan/lingkungan dihasilkan jumlah tumpukan maksimum masing-masing 29 unit dan 35 unit. Perubahan kekuatan tekan kemasan selama penyimpanan pada suhu 8°C lebih kecil daripada suhu 13°C. Penggunaan rancangan kemasan dengan bahan C-flute untuk model-1 (kapasitas 48 buah) dan model-2 (kapasitas 60 buah) dapat mengurangi kerusakan buah manggis lebih kecil dari 2%, yaitu masing-masing 1.39% dan 1.67%. Hasil evaluasi juga menunjukkan bahwa petani pada rantai pasokan melalui pedagang pengumpul mendapat nilai tambah sebesar 2,550 Rp/kg, untuk rantai-2 (tidak melalui pedagang pengumpul) sebesar 5,250 Rp/kg. Supplier dan eksportir memperoleh nilai tambah sebesar 5,065 Rp/kg dan 11,075 Rp/kg. Dengan penerapan penanganan yang baik, petani memperoleh nilai tambah yang lebih besar dan mutu lebih baik.

Kata kunci: manggis, kemasan, kekuatan tekan, nilai tambah

ABSTRACT

The changes of the quality of mangosteen fruits for export market occurs during the distribution handling from production centre to the shipment port and then to the destination market countries. Fruits injured during transportation in existing distribution system are around 20%. This research aims to develop optimum packaging design of mangosteen fruit for export market and to evaluate added value of implementation good post-harvest handling on export supply chain of mangosteen. The results showed that compression strength of C-flute and BC-flute packaging types with inner package were 474.5 kgf and 663.2 kgf, respectively. Based on the capacity, compression strength of packaging and safety/environment factor the maximum stacking was determined maximally stacked up to 29 units and 35 units of packaged fruits. The change of the packaging design compression strength during storage at temperatures 8°C was smaller than that of 13°C. The designed packaging of C-flute material could reduce damage less than 2%, on model-1 (48 fruits capacity) and model-2 (60 fruits capacity) caused 1.39% and 1.67%, respectively. The added value evaluation also showed that farmers in longer chain through middlemen was Rp 2,550/kg, while without middlemen was Rp 5,250/kg. Supplier and exporter gained added value as much as Rp 5,065/kg and Rp 11,065/kg. By implementing appropriate handling, farmers gained higher added value and better quality.

Keywords: mangosteen, packaging, compression strength, added value

PENDAHULUAN

Buah manggis, The Queen of Fruit, telah menjadi komoditas buah tropika yang sekarang ini menjadi konsumsi masyarakat dunia karena bentuk, rasa dan warna yang dinilai sangat eksotik. Indonesia is one of the leading mangosteen producers beside Thailand and Brazil. Di Indonesia, manggis telah menjadi komoditas ekspor unggulan sub sektor hortikultura dengan negara tujuan utama adalah China (44.4%), Hongkong (35.47%), Singapura (8.54%) dan berkembang ke pasar Timur Tengah (6.14%) dan Eropa (0.39%). Sementara itu, terjadi penyusutan buah yang besar selama ekspor, dimana hanya 35%-40% dapat diterima oleh negara pengimpor (Sutrisno et al., 2009). Peluang ekspor yang cukup besar juga memiliki hambatan, salah satunya kualitas produk yang sulit dipenuhi oleh produsen dan eksportir manggis di Indonesia. Selain itu, dalam sistem distribusi pada saat transportasi terjadi kerusakan buah manggis masih cukup besar hingga mencapai 20%. Kerusakan yang terjadi ini tidak hanya disebabkan oleh faktor resiko lingkungan (suhu, dan kelembaban) tetapi juga disebabkan oleh resiko fisik (gesekan, benturan, tekanan). Produk pertanian yang telah mengalami kerusakan mekanis akan lebih rentan terhadap kerusakan fisiologis dan biologis yang selanjutnya akan menurunkan mutu produk. Dengan demikian, dalam perancangan kemasan dibutuhkan kesesuaian jenis bahan kemas dengan karakteristik produk yang dikemas.

Salah satu jenis bahan kemas yang banyak digunakan dalam pengemasan produk buah-buahan adalah karton gelombang, karena memiliki keunggulan diantaranya dapat meredam getaran, memiliki ketahanan terhadap tekanan, kerapuhan, tumpukan, serta memiliki permukaan yang halus sehingga mampu menurunkan resiko kerusakan akibat gesekan. Jinkarn et al., (2006) menyatakan bahwa kotak bergelombang sangat menguntungkan karena praktis untuk penjualan eceran, kebutuhan ruang persediaan yang sedikit, dan terbuat dari bahan yang ramah lingkungan. Kotak bergelombang juga dapat dirancang untuk penerapan berbagai kekuatan dan bentuk yang dibutuhkan. Namun, kekuatan tekan kotak kemasan tergantung pada berbagai faktor rancangan. Faktor-faktor yang mempengaruhi tersebut adalah komponen penyusun karton yaitu kertas liner dan flute, dimensi, rancangan, kondisi pengiriman, dan lingkungan penyimpanan.

Karton gelombang akan mengalami penurunan kekuatan tekannya dalam proses transportasi dan distribusi antara lain disebabkan oleh kelembaban relatif lingkungan yang tinggi, beban penumpukan yang berlebihan, penyimpanan jangka panjang, dan pola susun antar kemasan yang tidak merata.

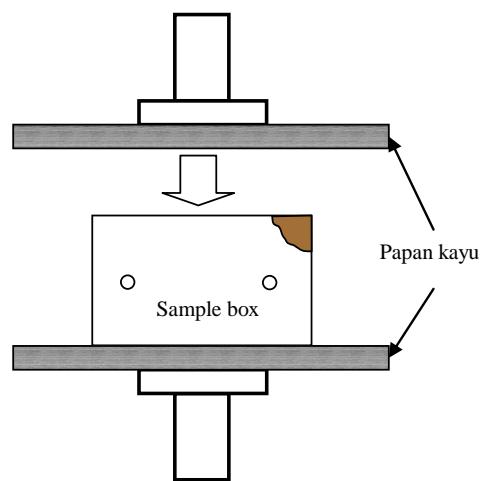
Chopra & Peter (2007) menyatakan bahwa tiap-tiap tingkat dari rantai pasokan dihubungkan melalui aliran produk, informasi, dan keuangan. Rancangan rantai pasokan yang tepat tergantung pada kebutuhan pelanggan dan peran yang dijalankan oleh tiap-tiap tingkat yang terlibat. Tiap rantai pasokan seharusnya bertujuan untuk memaksimumkan keseluruhan nilai. Namun demikian, Morgan et al. (2004) menyatakan kendala utama dalam rantai pasok produk pertanian khususnya hortikultura adalah perencanaan, sosialisasi dan pengiriman. Pada tingkat perusahaan, manajemen rantai pasok merupakan salah satu tulang punggung keberhasilan dalam memenangkan persaingan bisnis. Rantai pasok agroindustri hortikultura khususnya buah dan sayuran akan melibatkan rangkaian kegiatan pasokan produk, pemrosesan, persediaan dan pengiriman kepada pelanggan. Pelanggan menginginkan kuantitas pasokan produk sesuai rencana kebutuhan, tingkat kualitas yang baik dan jadwal pengiriman sesuai rencana. Oleh karena diperlukan integrasi analisis dalam system rantai pasok. Porter (2001) menyatakan bahwa analisis value chain memandang perusahaan sebagai salah satu bagian dari rantai nilai produk. Rantai nilai produk merupakan aktifitas yang berawal dari bahan mentah sampai dengan penanganan purna jual. Rantai nilai ini mencakup aktivitas yang terjadi karena hubungan dengan pemasok (*Supplier Linkages*), dan hubungan dengan konsumen (*Consumer Linkages*). Aktifitas ini merupakan kegiatan yang terpisah tapi sangat tergantung satu dengan yang lain. Menurut Sudiyono (2002) pembentukan nilai tambah pada produk pertanian dengan sifat perishable (mudah rusak) dan bulky (kamba) dapat memberikan motivasi terhadap petani untuk melakukan penanganan yang tepat sehingga produk pertanian tersebut siap dikonsumsi oleh konsumen. Didalam sistem komoditas pertanian terjadi arus komoditas yang mengalir dari hulu ke hilir, yang berawal dari petani dan berakhir pada konsumen akhir. Dalam perjalanan tersebut, komoditas pertanian mendapat perlakuan seperti pengolahan, pengawetan, dan pemindahan untuk menambah kegunaan atau menimbulkan nilai tambah.

Tujuan penelitian adalah mengembangkan kemasan buah manggis untuk ekspor dan mengevaluasi nilai tambah penerapan pascapanen yang baik pada rantai pasok ekspor manggis.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan untuk perancangan kemasan berupa beberapa jenis bahan kemasan karton gelombang tipe BC dan C flute untuk pembuatan prototype kemasan luar (outer) dan tipe B flute untuk prototype kemasan dalam (inner) dengan gramatur 150. Bahan yang digunakan untuk verifikasi rancangan kemasan adalah buah manggis dengan minimal indek 2, berat rata-rata 100 gram per buah (kelas mutu ekspor).

Perancangan kemasan dilakukan berdasarkan kebutuhan kemasan dengan persyaratan, yaitu jumlah buah setiap kemasan, dimensi dan berat, jumlah tumpukan, karakteristik dan tipe bahan karton. Pengujian rancangan kemasan dilakukan terhadap kekuatan tekan seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Dua papan kayu dengan permukaan halus yang melekat pada atas dan rahang bawah kompresi mesin untuk meratakan distribusi beban tekan pada panel papan bergelombang. Setiap papan kayu beratnya 4.6 kg dan ukurannya adalah 48 cm x 40 cm x 4 cm dengan kecepatan beban ditetapkan selama 10 mm/menit.



Gambar 1. Metode pengujian kekuatan tekan (Jinkarn et al., 2006)

Nilai kekuatan kompresi (tekan) pada pengujian digunakan untuk menghitung jumlah tumpukan dengan persamaan berikut ini (Twede et al., 2005).

$$C_s = \frac{P}{f} \quad (1)$$

$$S = \frac{C_s}{W_b} \quad (2)$$

Dimana C_s adalah kekuatan kompresi, P adalah compression stress, S adalah jumlah tumpukan, W_b adalah berat produk dalam kemasan dan f adalah nilai koefisien (faktor keamanan/lingkungan).

Simulasi transportasi menggunakan meja getar dengan rata-rata frekuensi 3.295 Hz dan amplitudo rata-rata 3.88 cm selama 2 (dua) jam. Kesetaraan simulasi pengangkutan menggunakan meja getar dengan panjang jalan yang ditempuh kendaraan truk dilakukan pada kondisi jalan luar kota (Lembaga Uji Konstruksi, 1986).

Pengamatan kerusakan mekanis dilihat secara visual meliputi tangkai patah, mahkota yang lepas dan jumlah buah yang melesak kedalam (penyok). Buah dinyatakan melesak jika ditemukan kondisi kulit buah yang tidak rata dengan kulit di sekitarnya. Kondisi ini ditentukan dengan cara pengamatan terhadap permukaan kulit buah. Pengukuran kerusakan buah dihitung dengan persamaan berikut:

$$Y_b = \frac{S_r}{S_b} \times 100 \quad (3)$$

Dimana: Y_b adalah persentase kerusakan buah, S_r adalah jumlah buah yang rusak (melesak, sepal lepas, tangkai patah dan lainnya), S_b adalah jumlah total buah. Selain itu juga dilakukan pengamatan perubahan mutu seperti kekerasan, total padatan terlarut dan susut bobot pasca simulasi transportasi selama 8 hari penyimpanan.

Terkait penerapan pascapanen dalam rantai pasok manggis, juga dilakukan analisis nilai tambah untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap pembentukan nilai tambah. Analisis nilai tambah dilakukan berdasarkan metode Hayami, dimana keluaran dari analisis nilai tambah tersebut, yaitu (1) perkiraan nilai

tambah; (2) rasio nilai tambah terhadap jumlah produk yang dihasilkan; (3) imbalan tenaga kerja; (4) bagian tenaga kerja; (5) keuntungan usaha dan (6) tingkat keuntungan usaha (Hayami & Kawagoe, 1993).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model rancangan kemasan

Rantai pasok ekspor manggis di Indonesia melibatkan petani, pengumpul kecil, pengumpul besar (packing house) serta eksportir. Dalam rantai tersebut distribusi produk dilakukan dengan penggunaan kemasan berupa keranjang plastik, peti kayu atau karton gelombang. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan perbaikan metode kemasan dan penggunaan bahan kemasan yang disesuaikan dengan kebutuhan yang ada dalam rantai distribusi. Perbaikan di tingkat petani dilakukan dengan introduksi bahan kemasan dari plastik dan peti kayu yang diberi penyekat steroform pada tiap lapis susunan manggis dalam kemasan. Hasil ini mampu mengurangi kerusakan manggis yang ditransportasikan dari sentra produksi sampai ke lokasi pedagang pengumpul dengan kisaran jarak mencapai 120 km. Kerusakan mekanis buah manggis selama simulasi transportasi untuk kemasan peti kayu bersekat styrofoam sebesar 5.2 persen lebih tinggi dibandingkan dengan kemasan keranjang plastik bersekat Styrofoam sebesar 3.57 persen. Perbedaan tersebut dikarenakan permukaan kemasan kayu lebih kasar dari kemasan plastik, hal ini ditunjukkan oleh kerusakan buah pada peti kayu lebih banyak terjadi pada buah yang bergesek dengan dinding kemasan. Peti kayu yang digunakan dalam penelitian adalah peti kayu yang biasa digunakan oleh petani yang terbuat dari papan kayu hasil limbah industri penggergajian kayu (Sutrisno et al, 2009). Untuk tujuan pasar institusi dan ekspor telah dilakukan perancangan kemasan dari karton gelombang tipe RSC menggunakan bahan karton flute BC dengan kapasitas 8 kg dan 15 kg dimana buah manggis disusun dengan metode fcc (face centered cubic). Secara teknis dan ekonomis direkomendasikan hasil rancangan untuk 8 kg karena mampu menurunkan tingkat kerusakan.

Sesuai dengan preferensi konsumen terutama untuk pasar ekspor dibutuhkan kemasan yang berfungsi ganda yaitu kemasan untuk transportasi yang sekaligus

dapat menyajikan kemasan retail. Untuk itu dilakukan pengembangan kemasan buah manggis menggunakan karton bergelombang. Perancangan kemasan dilakukan dengan penentuan bahan karton tipe C dan BC flute untuk kemasan luar yang berkapasitas total rata-rata 4 kg dan 6 kg, dan bahan karton tipe B-flute untuk kemasan dalam dan sekat (Gambar 2) dengan dimensi ditunjukkan Tabel 1.



Gambar 2. Model kemasan buah manggis (a) kemasan dalam, (b) kemasan luar

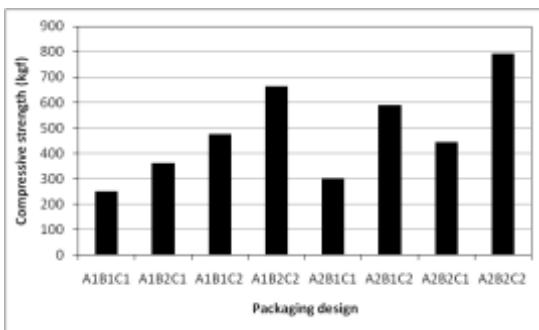
Tabel 1. Karakteristik dimensi disain kemasan

No.	Jenis ukuran	Satuan	Model Kemasan	
			1	2
1	Dimensi Kemasan Luar			
(a)	Panjang	cm	44.0	44.0
(b)	Lebar	cm	29.8	36.7
(c)	tinggi	cm	15.5	15.5
(d)	Ukuran celah ventilasi	mm	5.5	5.5
(e)	Jumlah celah ventilasi	unit	24.0	24.0
2	Dimensi Kemasan Dalam			
(a)	Panjang	cm	15.0	21.1
(b)	Lebar	cm	14.4	14.2
(c)	tinggi	cm	8.2	7.4
(d)	Ukuran celah ventilasi	mm	5.5	5.5
(e)	Jumlah celah ventilasi	unit	4.0	4.0
3	Jumlah kemasan dalam	unit	12.0	10.0
4	Jumlah buah per kemasan dalam	buah	4.0	6.0
5	Total kapasitas	buah	48.0	60.0

Kekuatan tekan dan tumpukan maksimum rancangan kemasan

Disain kemasan menggunakan celah ventilasi sebesar \pm 2 persen dari luasan vertikal pada kemasan. Menurut Singh et al., (2008) penggunaan celah ventilasi

dan *hand hole* (celah pegangan) sebesar 2% dari bidang vertikal kemasan dapat mengurangi kekuatan kemasan karton sebesar 10% dari kemasan tanpa ventilasi dan *hand hole*. Oleh karena itu penggunaan ventilasi dan *hand hole* melebihi 2 % tidak disarankan karena dapat mengurangi kekuatan tekan vertikal kemasan yang cukup signifikan. Lubang ventilasi kemasan diletakkan pada sisi panjang dan jumlah disesuaikan dengan jumlah kemasan dalam (inner package) tiap kemasan. Model disain kemasan luar yang berkapasitas 48 buah dan 60 buah memiliki jumlah celah ventilasi yang sama, yaitu 24 unit dengan jari-jari lubang sebesar 5.5 mm (Tabel 1).

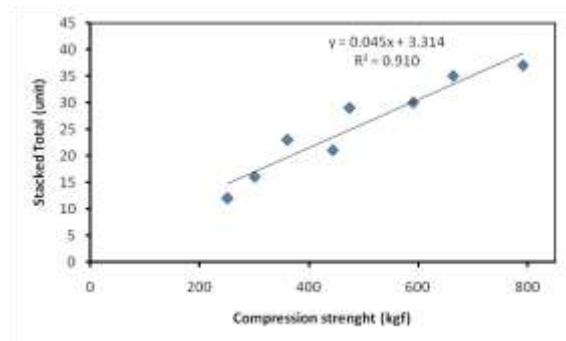


Keterangan: A1 (model inner 2x2); A2 (model inner 3x2); B1 (tipe C-flute); B2 (BC-flute); C1 (tanpa inner); C2 (dengan inner)

Gambar 3. Kekuatan tekan rancangan kemasan

Pengujian rancangan kemasan dilakukan terhadap kekuatan tekan yang diperhitungkan dalam penumpukan selama distribusi dalam container maupun gudang saat penyimpanan. Penumpukan menyebabkan *top to bottom compression*. Berdasarkan nilai kekuatan tekan dapat dihitung jumlah tumpukan maksimum kemasan. Peleg (1985) menyatakan ada dua faktor yang mempengaruhi compression strength, yaitu material peti karton, seperti bahan karton yang digunakan yaitu tipe flute dan tipe kemasan. Pengujian kekuatan tekan rancangan kemasan model-2 (kapasitas 60 buah) dengan bahan BC-flute menunjukkan kekuatan tekan yang paling besar yaitu 790.89 kgf, sedangkan untuk model-1 (kapasitas 48 buah) bahan C-flute sebesar 663.23 kgf (Gambar 3). Berdasarkan Persamaan 3 dapat dihitung jumlah tumpukan maksimum rancangan kemasan

model-1 (kapasitas 48 buah) dengan bahan C-flute, yaitu 29 tumpukan, sedangkan untuk bahan BC-flute 35 tumpukan. Kekuatan tekan bahan BC-flute lebih besar dibandingkan C-flute sehingga perkiraan jumlah tumpukan juga semakin besar (Gambar 4). Namun, dalam pengembangan kemasan untuk ekspor perlu dipertimbangkan faktor ekonomis kemasan. Hal ini sangat terkait dengan pemilihan bahan dan kekuatan tekannya. Juga dipengaruhi oleh model rancangannya, seperti pemberian lubang ventilasi, celah pegangan, sekat, pola penyusunan produk dalam kemasan. Bentuk, ukuran dan posisi celah pegangan merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan kemasan karton bergelombang (Jinkarn et al., 2006).



Gambar 4. Hubungan kekuatan tekan dengan jumlah tumpukan maksimum.

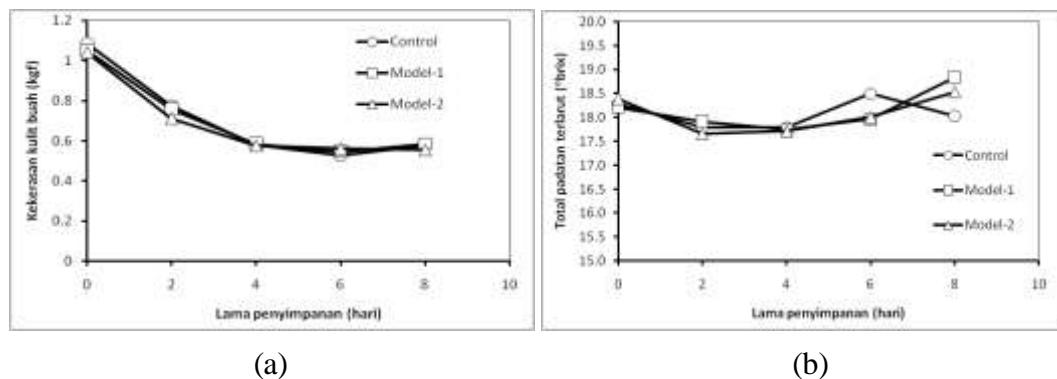
Kerusakan mekanis dan perubahan mutu buah manggis

Persentase kerusakan dari dua jenis kapasitas kemasan tidak berbeda. Penggunaan kemasan dengan bahan C-flute (model-1 dan model-2) mengakibatkan kerusakan buah sebesar 1.39 persen dan 1.67 persen. Jenis kerusakan yang terjadi yaitu kelompak buah pecah karena benturan. Kerusakan tersebut disebabkan oleh ukuran buah lebih kecil dari ruang pada kemasan dalam sehingga buah bebas bergerak sesuai arah guncangan. Sedangkan untuk kerusakan mekanis seperti buah pecah, retak, dan memar tidak di temukan pada kedua kemasan. Darmawati et al (2009) menggunakan rancangan kemasan berkapasitas 8 kg pada pola fcc dengan kerusakan sebesar 3.1% dan pola jumble 2.3%, sedangkan kemasan berkapasitas 15 kg untuk masing-masing pola adalah sebesar 7.5% dan 2.5%. Dengan demikian rancangan kemasan menggunakan karton

bergelombang tipe C-flute dan bersekat dengan kapasitas 4.8 kg dan 6.0 kg dapat mengurangi kerusakan buah manggis selama transportasi.

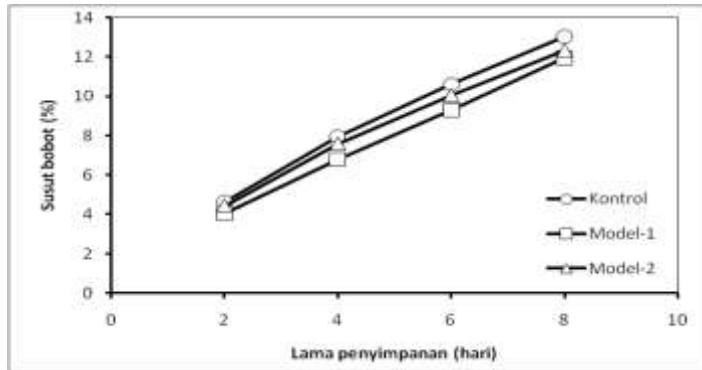
Jika diamati posisi buah dalam kemasan yang mengalami pergeseran 45° - 90° sebesar 2.77 persen dan 1.67 persen, sedangkan yang dari 90° dari arah vertikal kemasan tidak ditemukan. Pergeseran buah pada kemasan dalam yang bersekat diakibatkan oleh diameter mayor buah lebih kecil dari ukuran ruang kemasan dalam serta tinggi buah dari pangkal sampai ujung tangkai terlalu pendek.

Perubahan mutu buah manggis dalam kemasan setelah simulasi transportasi selama 2 jam tidak menunjukkan perbedaan penurunan kekerasan dan peningkatan total padatan terlarut yang signifikan (Gambar 5 (a) dan 5 (b)). Lama simulasi transportasi dengan meja getar dilakukan berdasarkan waktu yang dibutuhkan untuk distribusi mulai dari petani hingga eksportir. Waktu tempuh tersebut setara dengan 133.9 km di jalan luar kota atau sekitar 2.23 jam perjalanan truk dengan kecepatan 60 km/jam.



Gambar 5. Perubahan selama penyimpanan untuk (a) kekerasan kulit buah manggis; (b) total padatan terlarut

Pada Gambar 6 ditunjukkan bahwa buah manggis yang tidak disimulasikan dalam transportasi dan hanya disimpan dalam kemasan (kontrol) mengalami susut bobot yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan kemasan model-1 dan model-2. Hal ini mengindikasikan rancangan kemasan yang dihasilkan dapat menghambat terjadinya penurunan bobot produk (buah manggis) atau kerusakan fisik yang terjadi tidak mengakibatkan penurunan bobot yang signifikan.



Gambar 6. Perubahan susut bobot selama penyimpanan setelah simulasi Transportasi

Perubahan kekuatan tekan selama penyimpanan dingin

Dengan waktu tempuh lebih dari 2 jam tersebut, penggunaan rancangan kemasan untuk rantai pasok ekspor buah manggis dapat dilakukan dengan baik. Persentase kerusakan dan perubahan mutu dapat dikurangi. Kekuatan tekan kemasan selama penanganan seperti penyimpanan dingin tidak mengalami perubahan yang signifikan (Tabel 2). Penurunan kekuatan diakibatkan oleh sifat hygro-instability dari karton gelombang, yaitu sifat ketidakstabilan kertas atau karton akibat adanya air. Kotak karton gelombang bersifat menyerap air dari udara di sekitarnya sehingga melenturkan serat-serat selulosanya. Kelembaban tinggi berarti kandungan air di udara juga tinggi sehingga memungkinkan air diserap oleh kertas juga tinggi. Peleg (1985) karton akan terus menyerap air dari udara sekitar sampai mengalami kesetimbangan dimana karton tidak lagi mampu menyerap air.

Pengujian menunjukkan penyimpanan kemasan pada suhu 13°C dengan kelembaban tinggi sekitar 90-95% membuat kemasan mengalami penurunan kekuatan tekan yang lebih besar dari pada penyimpanan kemasan pada suhu 8°C dengan kelembapan rendah 69-75%. Kemasan memiliki kesetimbangan kelembaban dengan ruang penyimpanan kurang dari 1 hari penyimpanan. Hal ini ditunjukkan dengan berkurangnya kekuatan secara drastis pada pengujian hari pertama setelah penyimpanan. Selain itu, setelah 1 hari penyimpanan kekuatan kemasan yang disimpan pada kedua suhu mulai stabil.

Tabel 2. Perubahan kekuatan tekan kemasan selama penyimpanan dingin

Lama Penyimpanan (hari)	Kekuatan tekan (kgf)							
	A1B1C2		A1B2C2		A2B1C2		A2B2C2	
	8°C	13°C	8°C	13°C	8°C	13°C	8°C	13°C
0	474.50	474.50	663.23	663.23	590.19	590.19	790.89	790.89
1	372.89	292.25	619.26	427.11	558.12	367.24	605.85	481.50
5	337.31	285.90	622.65	402.75	549.41	338.36	630.46	469.35
10	330.66	280.64	618.45	397.67	548.75	344.46	625.88	474.08

Keterangan: A1 (model inner 2x2); A2 (model inner 3x2); B1 (tipe C-flute); B2 (BC-flute); C1 (tanpa inner); C2 (dengan inner)

Evaluasi nilai tambah dalam rantai pasok manggis

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai tambah yang diterima petani pada rantai pasokan yang panjang (melalui pedagang pengumpul) sebesar 2,550 Rp/kg, sedangkan pada rantai-2 (tidak melibatkan pedagang pengumpul) nilai tambahnya mencapai 5,250 Rp/kg. Pedagang pengumpul dalam rantai-1 memperoleh nilai tambah sebesar 900 Rp/kg, nilai tersebut jauh lebih kecil dibandingkan petani. Jika diamati dengan imbalan tenaga kerja yang sama, yaitu 150 Rp/kg usaha yang menerapkan penanganan pascapanen yang baik dapat memperoleh keuntungan yang lebih besar, yaitu 91.70 persen.

Tabel 3. Perbandingan nilai tambah yang diterima petani

No.	Variabel	Satuan	Nilai	
I.	Output, Input dan Harga		Rantai-1	Rantai-2
1.	Output*	kg/proses	300	400
2.	Bahan Baku	kg/proses	500	500
3.	Tenaga Kerja Langsung	HOK/proses	3	3
4.	Faktor Konversi		0.60	0.80
5.	Koefisien Tenaga Kerja Langsung		0.01	0.01
6.	Harga Output	Rp/kg	4,500	7,000
7.	Upah Rata-rata Tenaga Kerja	Rp/HOK	25,000	25,000
II.	Pendapatan dan Keuntungan	Rp/Kg bahan baku		
8.	Harga bahan Baku	Rp/kg	-	-
9.	Sumbangan Input Lain	Rp/Kg	150	350
10.	Nilai Output	Rp/Kg	2,700	5,600
11.	a. Nilai Tambah	Rp/Kg	2,550	5,250
	b. Rasio Nilai Tambah	%	94.44	93.75
12.	a. Imbalan Tenaga Kerja	Rp/Kg	150	150
	b. Bagian Tenaga Kerja	%	5.88	2.86
13.	a. Keuntungan	Rp/Kg	2,400	5,100
	b. Tingkat Keuntungan	%	88.89	91.07
III.	Balas Jasa Terhadap Faktor Produksi			
14.	Margin	Rp/Kg	2,700	5,600
	a. Pendapatan Tenaga Kerja	%	5.56	2.68
	b. Sumbangan Input Lain	%	5.56	6.25
	c. Keuntungan Usaha	%	88.89	91.07

Catatan: * Rantai-1 dihasilkan 40% off-grade; Rantai-2 dihasilkan 20% off-grade

KESIMPULAN

- (a) Penggunaan kemasan dengan bahan C-flute untuk model-1 (kapasitas 48 buah) dan model-2 (kapasitas 60 buah) mengakibatkan kerusakan buah sebesar 1.39 persen dan 1.67 persen. Perancangan kemasan yang telah dilakukan dapat mengurangi tingkat kerusakan buah manggis hingga lebih kecil dari 2 persen.
- (b) Nilai tambah yang diterima petani pada rantai pasokan yang panjang (melalui pedagang pengumpul) sebesar 2,550 Rp/kg, sedangkan pada rantai-2 (tidak melibatkan pedagang pengumpul) nilai tambahnya mencapai 5,250 Rp/kg. Supplier dan eksportir masing-masing memperoleh nilai tambah sebesar 5,065 Rp/kg dan 11,075 Rp/kg. Dengan penerapan penanganan yang baik, petani memperoleh nilai tambah yang lebih besar dan mutu yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh program Asia Invest dari komisi Uni Eropa dan dibiayai dari DIPA-IPB untuk program Penelitian Strategis Nasional dari DIKTI, Kementerian Pendidikan Nasional-Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Chopra, S and Peter M. 2007. Supply Chain Management: Strategy, Planning & Operations, 3rd Edition. Pearson Prentice Hall.
- Darmawati, E., Sutrisno, N. Yulianti. 2009. Packaging Design of the Mangosteen for Local Transportation. Proceeding of International Agricultural Engineering Conference in Bangkok.
- Hayami, T and Kawagoe, T. 1993. The agrarian origins of commerce and industry: a study of peasant marketing in Indonesia. Macmillan press.
- Jinkarn, T., Pattamaporn B. and Sanivan B. 2006. Effect of Carrying Slots on the Compressive Strength of Corrugated Board Panels. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 40 (Suppl.): 154–161.
- Lembaga Uji Konstruksi. 1986. Hasil Pengangkutan Gerak Bak Truk Angkutan Setara 30 km Pada Beberapa Kondisi Jalan. Lembaga Uji Konstruksi. Jakarta.

- Morgan, W., S. Iwantoro, and A.S. Lestari, 2004. Improving Indonesian Vegetable Supply Chains. Didalam: GI Johnson dan PJ Hofman, editor. Agri-product Supply Chain Management in Developing Countries. Proceeding of a Workshop; Bali, 19-22 August 2003. Bali: ACIAR. hlm 139-141.
- Peleg, K. 1985. Produce Handling Packaging and Distribution. Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- Porter, M.E. 2001. Strategy and the Internet. Harvard Business Review. March 2001, pp. 62-78.
- Singh, J., E. Olsen, S. P. Singh, J. Manley and F. Wallace. 2008. The Effect of Ventilation and Hand Holes on Loss of Compression Strength in Corrugated Boxes. Journal of Applied Packaging Research, Vol. 2, No.4: 227-238.
- Sudiyono, A. 2002. Pemasaran Pertanian. UMM Press. Yogyakarta.
- Sutrisno, Ismi M. E., and Sugiyono. 2009. Quality Prediction in Mangosteen Storage by Artificial Neural Network. Proceeding of International Agricultural Engineering Conference in Bangkok.
- Sutrisno, Yolivia A. S., Sugiyono. 2009. Effects of Packaging Type and Storage Temperature on Shelf Life and Quality of Mangosteen in Simulated Transportation. Proceeding Seminar Nasional dan Gelar Teknologi PERTETA di Mataram.
- Twede, D., Susan E. M. Selke. 2005. Cartons, crates and corrugated board: handbook of paper and wood packaging technology. DEStech Publication Inc. pp 410-428.

**PERANCANGAN PROSES DAN SISTEM PRODUKSI MIKROALGA
DARI LIMBAH CAIR AGROINDUSTRI**
(Process Design and Production System of Microalgae Grown in
Agroindustrial Wastewater)

¹⁾**Suprihatin, Muhammad Romli¹⁾, Andes Ismayana¹⁾**

¹⁾Dep. Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB

ABSTRAK

Salah satu alternatif untuk memanfaatkan energi surya adalah dengan memanfaatkan proses fotosintesis mikroalga dalam suatu sistem yang terkendali. Dibandingkan dengan jenis tanaman lainnya, mikroalga mampu memanfaatkan energi surya secara lebih efisien, laju pertumbuhan dan produktivitas tinggi, tidak memerlukan lahan subur, serta biaya investasi dan biaya operasi / pemeliharaan rendah. Untuk dapat memanfaatkan potensi tersebut, dilakukan penelitian ini dengan tujuan untuk menghasilkan rancangan proses dan sistem produksi mikroalga dari limbah cair agroindustri (limbah cair dari industri peternakan, rumah pemotongan hewan dan industri gula). Hasil rancangan dilengkapi dengan hasil kajian parameter desain/operasi, dan hasil analisis teknno-ekonomi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari ketiga limbah cair yang diuji, limbah cair RPH dan peternakan berpotensi untuk digunakan sebagai substrat pertumbuhan mikroalga. Tergantung pada karakteristik media tumbuh, pertumbuhan eksponensial mikroalga mulai teramat pada hari ke-4 dan berlangsung selama 5-8 hari. Setelah 12-15 hari mulai teramat terjadi fase kematian. Laju pertumbuhan mikroalga dalam media limbah cair RPH ($0,14 \pm 0,09 \text{ hari}^{-1}$) relatif sama dengan mikroalga dalam media limbah cair peternakan ($0,14 \pm 0,03 \text{ hari}^{-1}$). Sistem produksi mikroalga dari limbah cair agroindustri direkomendasikan menggunakan sistem sequencing batch dengan pra-perlakuan limbah cair secara anaerobik untuk menurunkan kadar COD hingga 750-1000 mg/L sekaligus untuk menghasilkan biogas (bioenergi). Siklus produksi dalam waktu 5-8 hari, dan pemisahan biomassa mikroalga dilakukan dengan sentrifugasi, atau koagulasi/flokulasi-sedimentasi. Residu sisa proses ekstraksi minyak dioalah secara anaerobik bersama dalam unit pra-perlakuan limbah cair secara anaerobik untuk menghasilkan bogas (metana). Sistem produksi memberi manfaat ekonomis dan lingkungan seperti produksi biomassa mikroalga yang memiliki nilai ekonomi, konservasi sumberdaya air, dan perolehan kembali nutrien, sehingga dapat dipandang sebagai win-win solution bagi pengelolaan lingkungan dan berkontribusi terhadap pembangunan pertanian yang berkelanjutan (sustainable agriculture).

Kata kunci : Mikroalga, limbah cair agroindustri, proses produksi, sistem produksi mikroalga

ABSTRACT

An alternative for efficient earning solar energy is by using algal photosynthesis in a controlled system. Compared to another plants microalgae utilize solar energy more efficient, higher growth rate and productivity, does not need fertile soils as well as low investment and operation costs. Climate and geographical conditions such as sun light during the whole year and land availability also support the application of alga system in Indonesia. To be able to utilize the potential, this research is conducted to design an algal production process and system with growing media of agroindustrial wastewaters (slaughterhouse wastewater, livestock wastewater, and sugar cane mill wastewater). Research results show that slaughterhouse wastewater and livestock wastewater can be considered as good media for microalgae production, whereas sugar cane mill wastewater

is not suitable for this purpose because of the low nutrients content. Depending on the wastewater characteristics, the exponential growth phase of the microalgae is observed at the 4th day and took place for 5-8 days. After 12-15 days, the dead phase started to begin. Microalgae growth rate of $0.14 \pm 0.09\text{d}^{-1}$ is observed in the media of slaughterhouse wastewater, whereas microalgae growth rates were in the range of $0.14 \pm 0.03\text{d}^{-1}$. Considering the technical constraints in continuous microalgae production system it is recommended to produce microalgae using sequencing batch system. Slaughterhouse wastewater as well as livestock wastewater needs to be pre-treated using anaerobic system to reduce COD to app. 1000-750 mg/L and in the same time to produce biogas (bioenergy). The microalgae production is designed in the exponential phase consequence in a production cycle of 5-8 days. Microalgae are separated from media using centrifugation or coagulation/flocculation followed by sedimentation. Treated wastewater can be recycled or reused for various purposes. Residue from the oil extraction can be treated in the anaerobic reactor that utilized for pre-treating wastewater. In this bioreactor the residue will be stabilized and additional energy source (methane) will be created. This system can provide economical and environmental benefits such as microalgal biomass production and nutrients recovery. Therefore this system can be considered as a win-win solution for a sustainable environmental management and sustainable agriculture development.

Keywords : microalgae, agroindustrial wastewater, process production, algal production system

PENDAHULUAN

Ketergantungan terhadap sumber energi fosil hingga saat ini masih sangat tinggi. Situasi persediaan energi fosil yang semakin berkurang dan ditambah dengan isu pemanasan global yang dikaitkan dengan penggunaan energi fosil telah mendorong pengembangan energi terbarukan dari bahan pangan (kelapa sawit, kelapa, tebu, kedele). Konversi bahan pangan menjadi bahan energi dapat menyebabkan kerawanan pangan, sehingga diperlukan langkah strategis untuk mengembangkan dan mengoptimalkan peranan pertanian sebagai pemasok energi (Bahan Bakar Nabati / BBN) tanpa mengorbankan pangan dan keseimbangan ekologi.

Kendala utama pertanian dalam menyediakan bahan pangan dan bahan energi terbarukan adalah semakin terbatasnya lahan yang tersedia dan semakin rendahnya kesuburan tanah. Oleh karena itu permasalahan pertanian di masa depan hanya dapat diatasi kalau makin banyak kegiatan pertanian yang dilaksanakan bebas dari ketersediaan lahan subur. Teknologi yang dapat memanfaatkan energi surya sebagai sumber fotosintesis secara lebih efisien merupakan faktor penting yang harus dikuasai. Salah satu alternatif untuk

memanfaatkan energi surya melalui proses fotosintesis adalah dengan memanfaatkan mikroalga dalam suatu sistem yang terkendali.

Mikroalga memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan jenis tanaman lainnya, yaitu: i) produktivitas tinggi karena waktu generasi hanya dalam satuan jam atau hari, ii) tidak memerlukan lahan subur sehingga tidak berkompetisi dengan tanaman pangan, iii) dapat dikombinasikan untuk pengelolaan lingkungan (recycling nutrien, konservasi air, dan biofixasi karbon dioksida / reduksi emisi gas rumah kaca), iv) efisien dalam penyerapan energi surya, dan v) biomassa mengandung bahan-bahan bernilai tinggi seperti protein, minyak/lemak, vitamin, mineral, pigmen, β -karoten, bahan aktif, dan serat, yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan (Pedroni dan Banemann, 2003). Potensi tinggi penggunaan biomassa mikroalga yang baru-baru ini semakin mencuat adalah sebagai bahan baku pembuatan biodiesel (Chisti, 2007; Avagyan, 2008).

Sistem ini dapat memberikan solusi komprehensif karena mikroalga mampu memanfaatkan energi surya secara lebih efisien dibanding dengan jenis tanaman lain, laju pertumbuhan cepat (dalam satuan jam atau hari), produktivitas tinggi, tidak memerlukan lahan subur, serta hanya membutuhkan sedikit biaya investasi dan biaya operasi / pemeliharaan (Suprihatin, 1989; Garcea *et al*, 2000; Shelef and Ozoz, 2000). Kondisi iklim dan geografis, seperti intensitas sinar matahari sepanjang tahun, temperatur udara relatif tinggi, dan ketersedian lahan juga mendukung aplikasi sistem ini di Indonesia.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan rancangan proses dan sistem produksi mikroalga dari limbah cair agroindustri, mencakup karakteristik pertumbuhan mikroalga dalam limbah cair agroindustri, rancangan proses dan sistem produksi mikroalga dari limbah cair, yang dilengkapi dengan analisis stokimetrik, dan analisis manfaat serta analisis daya saing produksi mikroalga dari limbah cair agroindustri.

METODE PENELITIAN

Sistem produksi mikroalga pada prinsipnya terdiri atas dua proses utama, yaitu proses kultivasi mikroalga dan proses pemanenan / pemisahan biomassa dari medium tempat tumbuhnya (*downstream process*). Proses kultivasi mikroalga merupakan proses biologis (pertumbuhan biomassa, pengambilan unsur hara, laju degradasi polutan), sedangkan pemisahan/pemanenan biomassa mikroalga merupakan operasi fisika. Karena kinerja sistem ini secara keseluruhan ditentukan oleh kedua tahapan tersebut, optimasi sistem produksi mikroalga dilakukan pada kedua sub-sistem tersebut.

Penelitian ini diawali dengan karakterisasi pertumbuhan mikroalga dalam medium limbah cair agroindustri. Karakterisasi pertumbuhan mikroalga meliputi penentuan kurva pertumbuhan (fase lag, fase eksponensial, fase penurunan pertumbuhan, fase stationer, dan fase kematian). Penelitian dilakukan dengan sistem kolam terbuka (*race way*). Berdasarkan karakteristik pertumbuhan mikroalga, kemudian dirancang proses produksi mikroalga, meliputi waktu panen dan laju pasokan nutrien.

Tabel 1. Kadar nutrien limbah cair rumah pemotongan hewan, peternakan dan limbah cair industri gula

Jenis limbah cair	Parameter				
	COD (mg/L)	TKN (mg/L)	Ortofosfa t (mg/L)	Kalium (mg/L)	pH
Limbah cair RPH (diaerasi sebelumnya)	740	24,75	16,22	114	7,1
Limbah cair peternakan (diaerasi sebelumnya)	989	16,05	11,12	305	8,8
Limbah cair industri gula	3.200	0	0,63	108	6,01

Bahan yang digunakan meliputi limbah cair agroindustri, yaitu limbah cair limbah cair pemotongan hewan, limbah cair perternakan, dan limbah cair industri gula (Tabel 1), serta bahan untuk analisis. Peralatan percobaan meliputi tiga unit kolam pertumbuhan alga ($p \times l \times t$): 1 m x 0,6 m x 0,4 m. Untuk penelitian pendahuluan digunakan tiga toples plastik transparan berukuran 5 Liter (volume kerja: 3,7 L). Peralatan pengukuran / analisis meliputi pH-meter, DO-meter, COD apparatus, spektrofotometer, haemacytometer, mikroskop, dan peralatan

laboratorium standar untuk pengukuran konsentrasi biomass mikroalga. Analisis karakteristik limbah cair dilakukan sesuai dengan prosedur APHA (2005).

Penelitian dilakukan pada tahun 2009-2010 di laboratorium Teknologi dan Manajemen Lingkungan, Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Pengujian jenis dan jumlah mikroalga dilakukan dengan pencacahan sesuai Metode *Sedgwick Rafter Counting (SRC)*, dengan menggunakan jasa Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan (ProLing), Departemen Manajemen Sumberdaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

Karakterisasi pertumbuhan mikroalga meliputi penentuan kurva pertumbuhan (fase lag, fase eksponensial, fase penurunan pertumbuhan, fase stationer, dan fase kematian). Penentuan karakteristik pertumbuhan dilakukan pertama dengan menentukan perubahan jumlah sel dan konsentrasi biomassa. Konsentrasi biomassa mikroalga didekati dengan parameter padatan tersuspensi. Pengujian konsentrasi biomassa sel dilakukan dengan metode grafimetri. Biomassa yang dimaksud dalam bahasan ini adalah biomassa kasar yang kemungkinan tercampur dengan komponen lain seperti bakteri, partikel organik, dan partikel anorganik. Pengukuran jumlah sel dilakukan dengan menggunakan metode *Haemacytometer*. Sel yang dihitung adalah seluruh sel yang hidup, berwarna kehitaman, baik dalam bentuk uniseluler atau koloni.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Pertumbuhan Mikroalga

Laju pertumbuhan spesifik

Gambar 1 menunjukkan pertumbuhan jumlah sel mikroalga dalam tiga media limbah cair yang hasil dari penelitian pendahuluan. Jumlah mikroalga tersebut tidak membedakan jenis mikroalga. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pertumbuhan mikroalga secara umum menunjukkan lima fase pertumbuhan, yaitu fase adaptasi, fase eksponensial, fase penurunan laju pertumbuhan, fase stationer, dan fase kematian. Fase eksponensial teramat terjadi mulai antara hari ke-3 atau ke-4 untuk limbah cair RPH dan limbah cair peternakan, sedangkan pada limbah

cair industri gula tidak terjadi pertumbuhan jumlah sel mikroalga secara signifikan.

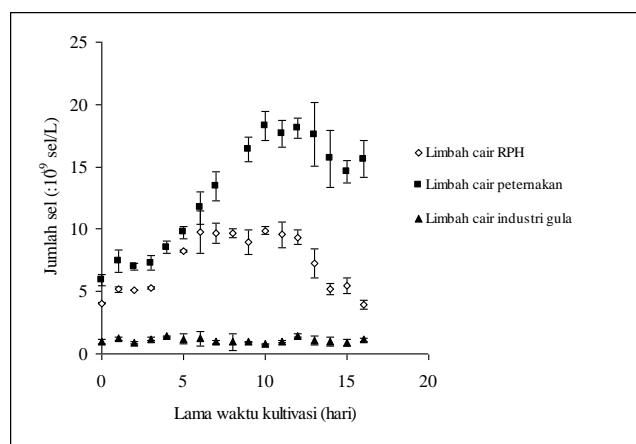
Laju pertumbuhan mikroalga dalam fase eksponensial dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{dC}{dt} = \mu \cdot C, \quad (1)$$

dimana μ adalah laju pertumbuhan spesifik. Dalam fase pertumbuhan eksponensial jumlah sel meningkat sebagai fungsi waktu t dalam fungsi eksponensial (FAO, 1996; Lim, Chu, dan Phang, 2010):

$$C_t = C_0 \cdot e^{\mu \cdot t} \text{ atau } \mu = \frac{\ln \frac{C_t}{C_0}}{t_1 - t_0} \quad (2)$$

dengan C_t dan C_0 adalah jumlah sel pada waktu ke- t dan ke-0, dan μ adalah laju pertumbuhan spesifik.



Gambar 1. Perkembangan jumlah sel mikroalga dalam media limbah cair RPH, limbah cair peternakan, dan limbah cair industri gula (error bar menunjukkan standar deviasi pengulangan penghitungan)

Dari hasil pengamatan dan perhitungan menggunakan persamaan tersebut di atas, laju pertumbuhan mikroalga dalam media limbah cair RPH ($0,14 \pm 0,09$ hari $^{-1}$) relatif sama dengan mikroalga dalam media limbah cair peternakan ($0,14 \pm 0,03$ hari $^{-1}$), meskipun jumlah sel per satuan volume dalam media limbah cair peternakan relatif lebih tinggi. Laju pertumbuhan mikroalga dalam masing-masing limbah cair disajikan dalam Tabel 2. Untuk limbah cair RPH dan limbah cair peternakan, hasil tersebut sesuai dengan Brennan dan Owende (2010) yang

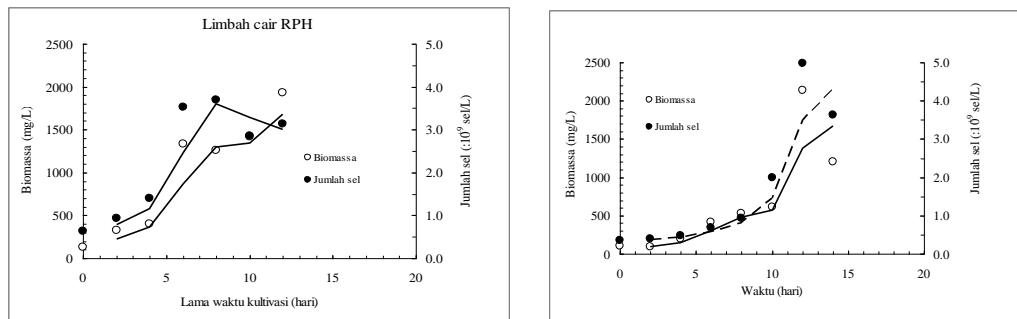
menyatakan bahwa pada laju eksponensial mikroalga mampu menggandakan diri dalam periode waktu 3,5 jam. Dalam media limbah cair industri gula praktis tidak teramati adanya terjadi pertumbuhan yang signifikan jumlah sel mikroalga. Hal ini terjadi kemungkinan karena keterbatasan nutrien ($N \approx 0$ dan $P=0,6 \text{ mg/L}$) di dalam limbah cair tersebut. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa limbah cair industri gula tidak sesuai untuk media produksi mikroalga. Atas dasar pertimbangan tersebut, penelitian selanjutnya dengan menggunakan skala yang lebih besar (volume 120 L) dilakukan hanya dengan menggunakan limbah cair RPH dan limbah cair peternakan.

Gambar 2 menunjukkan hasil percobaan pada skala lebih besar (volume kerja: 120 L) dengan menggunakan media pertumbuhan limbah cair RPH maupun limbah cair peternakan sapi. Terlihat bahwa pola pertumbuhan jumlah sel dan konsentrasi biomassa yang mirip baik dalam media limbah cair RPH maupun limbah cair peternakan. Pertumbuhan eksponensial teramati mulai hari ke-4. Setelah 12-15 mulai teramati terjadi fase kematian. Selama fase eksponensial konsentrasi biomassa meningkat dari 400 menjadi 1930 mg/L untuk media limbah cair RPH dan dari 190 menjadi 2130 mg/L untuk media limbah cair peternakan sapi. Peningkatan konsentrasi biomassa dapat disebabkan oleh peningkatan jumlah sel maupun ukuran mikrolaga. Hubungan antara jumlah sel dan konsentrasi biomassa mikroalga dalam media tumbuh limbah cair RPH dan limbah cair peternakan disajikan pada Gambar 3.

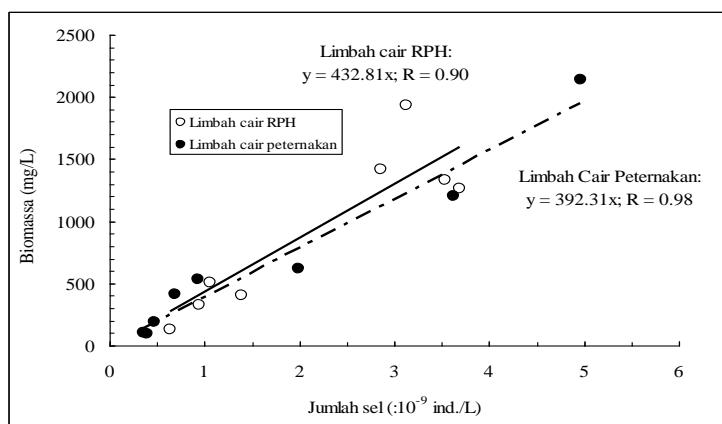
Tabel 2. Laju pertumbuhan spesifik (μ) mikroalga dalam media limbah cair RPH, peternakan, dan industri gula

Limbah cair RPH μ dalam hari $^{-1}$	Limbah cair peternakan μ dalam jam $^{-1}$ 1 hari $^{-1}$	Limbah cair industri gula μ dalam hari $^{-1}$ 1 μ dalam jam $^{-1}$
$0,14 \pm 0,09$	$3,40 \pm 2,35$	$0,14 \pm 0,03$
		$3,28 \pm 0,76$

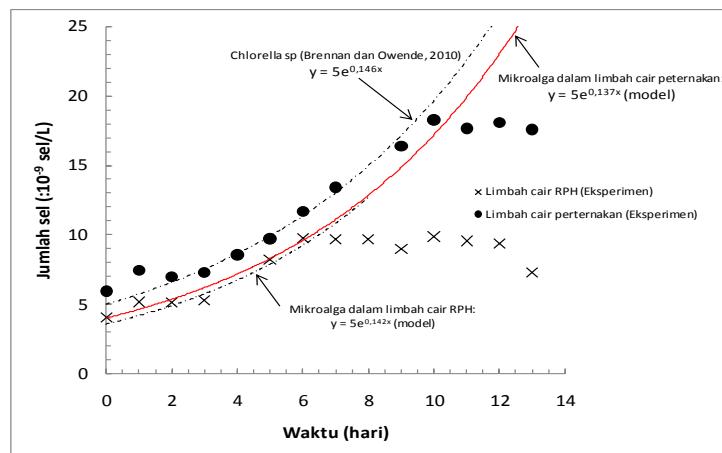
Hasil eksperimen pada fase pertumbuhan eksponensial dapat dideskripsikan dengan model yang menggunakan nilai pertumbuhan spesifik baik untuk limbah cair RPH maupun limbah cair peternakan. Selain itu, laju pertumbuhan mikropalga dalam kedua jenis limbah tersebut identik dengan laju pertumbuhan mikrolaga jenis *Chlorella* sp. (Gambar 4).



Gambar 2. Pertumbuhan biomassa dan jumlah sel selama pertumbuhan dalam limbah cair RPH (kiri) dan peternakan sapi (kanan)



Gambar 3. Hubungan antara jumlah sel dan konsentrasi biomassa mikroalga dalam media tumbuh limbah cair RPH dan limbah cair peternakan



Gambar 4. Perbandingan model dan hasil eksperimen laju pertumbuhan eksponensial mikroalga dalam limbah cair RPH dan limbah cair peternakan.

Produktivitas

Produktivitas area mikroalga (P) merupakan laju pertumbuhan biomassa mikroalga per satuan luas lahan ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{hari}$). Ekspresi ini dimaksudkan untuk memudahkan pembandingan hasil produksi satu sistem dengan sistem lainnya. Hubungan antara produktivitas area dan produktivitas volumetrik ($\text{kg}/\text{m}^3/\text{hari}$) dapat dinyatakan dalam bentuk formula berikut:

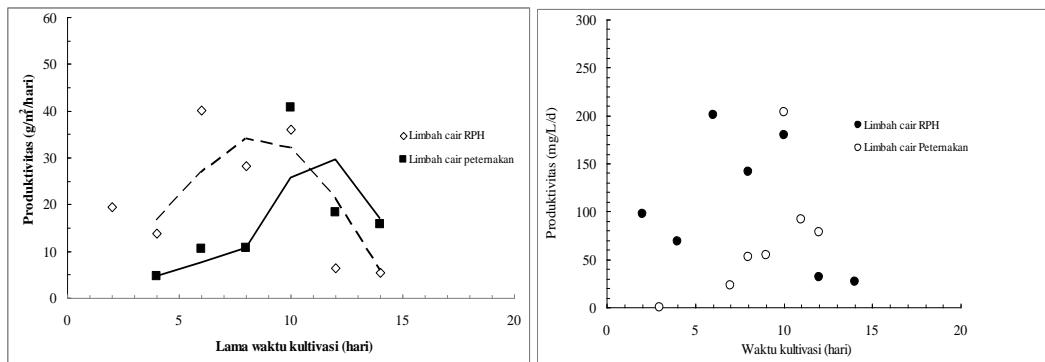
$$\frac{P}{D} = \mu \cdot C \quad (3)$$

dimana P = laju pertumbuhan biomassa per satuan luasan lahan ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{hari}$), D = kedalaman kolam (m), C = konsentrasi biomassa mikroalga (kg/m^3), dan P/D = produktivitas volumetrik ($\text{kg}/\text{m}^3/\text{hari}$).

Gambar 5 menunjukkan produktivitas volumetrik dan produktivitas area pada berbagai lama waktu kultivasi untuk limbah cair RPH dan limbah cair peternakan. Terlihat dari gambar tersebut bahwa tingkat produktivitas dipengaruhi oleh lama waktu kultivasi dan jenis media pertumbuhan. Secara umum produktivitas maksimum dicapai pada akhir masa fase pertumbuhan eksponensial. Oleh karena itu, selang waktu pemanenan mikrolaga harus memperhatikan selain konsentrasi biomassa juga harus memperhatikan produktivitas.

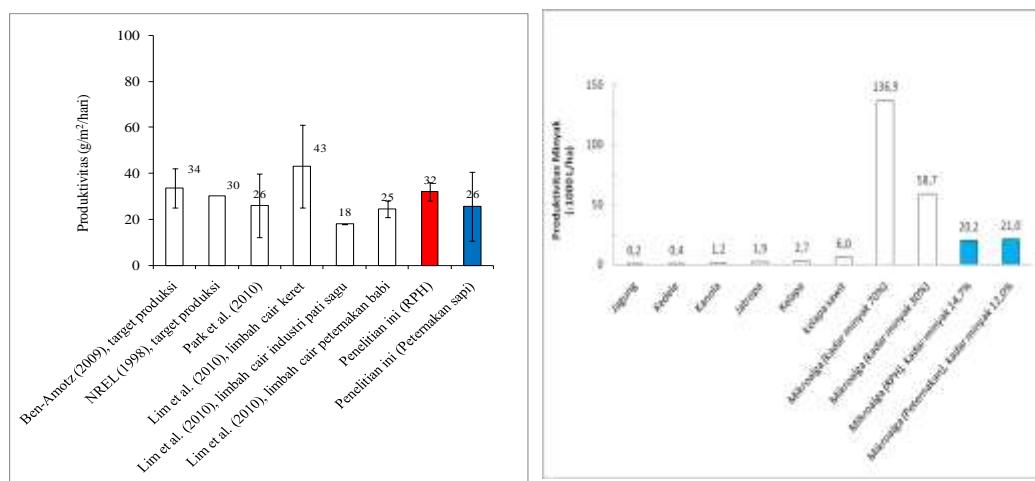
Dalam fase pertumbuhan eksponensial, diperoleh produktivitas volumetrik rata-rata (selang) 160 (140-180) mg/L/hari untuk media limbah cair RPH dan 130 (55-200) mg/L/hari untuk media limbah cair peternakan, dan setara dengan produktivitas area rata-rata (selang) 32 (28-35) dan 26 (11-41) g/m²/hari untuk masing-masing limbah cair tersebut di atas. Gambar 6 menunjukkan perolehan produktivitas penelitian ini dibandingkan dengan beberapa data literatur terkini. Pada Gambar 6 disajikan juga perbandingan produktivitas minyak mikrolga dengan berbagai sumber minyak nabati lainnya. Perolehan produktivitas dalam penelitian ini relatif sama dengan literatur. Namun perlu dicatat bahwa produktivitas dinyatakan dalam bobot biomassa kasar yang masih mengandung komponen-komponen tersuspensi lainnya. Penyajian produktivitas dalam satuan L

minyak per luas area dapat memberikan gambaran keunggulan mikroalga dibandingkan dengan jenis sumber minyak nabati lainnya.



Gambar 5. Produktivitas volumetrik (kiri) dan produktivitas area (kanan) pada berbagai lama waktu kultivasi untuk limbah cair RPH dan limbah cair peternakan

Produktivitas minyak mikroalga dari media limbah cair RPH dan limbah cair peternakan masing-masing 20 dan 21 L/ha, lebih besar dibandingkan produktivitas minyak dari sumber minyak nabati lainnya namun lebih rendah dari produktivitas minyak mikroalga hasil penelitian Chisti (2007). Hal ini disebabkan oleh kadar minyak mikroalga yang diperoleh dalam penelitian ini hanya 14,7% untuk media limbah cair RPH dan 12% untuk media limbah cair peternakan.



Gambar 6. Perbandingan produktivitas area dengan berbagai hasil penelitian (kiri) dan perbandingan produktivitas minyak mikroalga dengan produktivitas minyak berbagai sumber minyak nabati lainnya

Jenis Mikroalga

Pada Tabel 3 disajikan hasil identifikasi jenis mikroalga (fitoplankton) dari sampel media limbah cair RPH pada hari ke-15. Sebagai pembanding juga disajikan hasil identifikasi jenis mikroalga dalam inokulum yang digunakan (air danau). Jumlah mikroalga fitoplanton dalam media tumbuh RPH mencapai 18.552.777 individu per mL, jauh lebih tinggi dibanding dengan jumlah mikroalga dalam inokulum yang hanya mencapai 49.688 individu per mL. Jumlah taksa dalam media limbah cair tersebut lebih sedikit, yaitu 3 taksa sedangkan taksa dalam inokulum mencapai 12 taksa.

Dari hasil identifikasi jenis mikroalga terlihat bahwa jenis mikroalga *Chlorella* sp sangat dominan. Dalam sampel media tersebut teramat hanya sejumlah kecil jenis *Scenedesmus* sp, dan *Ankistrodesmus* sp. Untuk keperluan pembandingan kelimpahan dan dominasi jenis mikroalga ini dengan kondisi pertumbuhan mikroalga lainnya, data jumlah sel tersebut dapat dinalisis lebih lanjut, misalnya dengan menggunakan metode statistik yang banyak digunakan untuk analisis keragaman (diversitas), keseragaman (kemerataan), dan indeks dominansi jenis mikroalga, yaitu Indeks Shannon–Weaver (H'), Indeks Shimpson (D'), bersama-sama dengan kelimpahan jenis (S) dan Indeks keseragaman (E) (Hillebrand and Sommer, 2000; Graham *et al.*, 2004; Fachrul *et al.*, 2005).

Jenis mikroalga yang tumbuh dalam media limbah cair tersebut sangat berbeda dibandingkan dengan jenis mikroalga yang tumbuh dalam inokulum (Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik limbah cair yang spesifik menentukan komposisi jenis mikroalga yang dapat tumbuh dominan dan dapat menseleksi jenis mikroalga tertentu secara alamiah. Kondisi lingkungan media pertumbuhan menentukan jenis mikroorganisme mikroalga yang secara alami dapat tumbuh dan berkembang biak. Selain itu, dominasi oleh jenis *Chlorella* sp. karena laju pertumbuhan jenis mikroalga ini relatif tinggi dibandingkan dengan jenis lainnya. Hasil penelitian serupa ditunjukkan pada penelitian sebelumnya menggunakan limbah cair industri tapioka (Suprihatin, 1989), dimana selama masa kultivasi kurang dari 15 hari jenis mikroalga didominasi oleh *Chlorella* sp., dan baru mulai hari ke-20 teramat adanya jenis mikroalga *Euglena* sp. Perubahan komposisi jenis mikroalga tersebut diperkirakan akibat dari perubahan kondisi

lingkungan fisik dan kimia kolam mikroalga. Kondisi lingkungan tersebut mencakup antara lain pH, kadar karbondioksida, kadar oksigen terlarut, beban bahan organik, dan kadar unsur nutrien. Dari hasil tersebut di atas, dan kenyataan bahwa jenis mikroalga *Chlorella* sp. merupakan jenis mikroalga yang dikehendaki karena komposisi kimianya, maka kultivasi *Chlorella* sp. dapat dilakukan dengan kolam terbuka dengan waktu pemanenan kurang dari 15 hari untuk mencegah tumbuhnya jenis mikroalga lain yang laju pertumbuhannya relatif lebih lambat.

Tabel 3. Jenis mikroalga (fitoplankton) dalam inokulum (air danau) dan dalam medium pertumbuhan limbah cair^{*)}

No	Jenis	Inokulum (air danau)	Media Limbah Cair (RPH)
1	CYANOPHYCEAE:		
	▪ <i>Micocystis</i> sp	4.444	-
2	EUGLENOPHYCEAE:		
	▪ <i>Euglena</i> sp	356	-
	▪ <i>Trachelomonas</i> sp	178	-
3	CHLOROPHYCEAE:		
	▪ <i>Ankistrodesmus</i> sp	8.800	33.333
	▪ <i>Dictyosphaerrum</i> sp	5.600	-
	▪ <i>Gloeocystis</i> sp	266	-
	▪ <i>Westella</i> sp	4.622	-
	▪ <i>Gloeotilla</i> sp	3.733	-
	▪ <i>Kirchneriella</i> sp	2.311	-
	▪ <i>Celenastrum</i> sp	18.400	-
	▪ <i>Chlorella</i> sp	-	18.425.000
	▪ <i>Scenedesmus</i> sp	-	94.444
4	XANTHOPHYCEAE:		
	▪ <i>Centritractus</i> sp	89	-
5	CRYPTOPHYCEAE:		
	▪ <i>Cryptomona</i> sp	711	-
6	DINIPHYCEAE		
	▪ <i>Glenodinium</i> sp	178	-

*)Metode: Pencacahan (sensus-SRC)

Eliminasi Polutan dan Kualitas Efluen

Sebagai akibat dari pertumbuhan mikroalga adalah eliminasi nutrien, yang merupakan jenis polutan karena dapat menyebabkan eutifikasi di badan air penerima. Lebih lanjut, oksigen yang dihasilkan oleh mikroalga dalam fotosintesis mendukung pertumbuhan bakteri aerobik yang berperan dalam perombakan bahan organik di dalam limbah cair (media tumbuhmikroalga). Penelitian menunjukkan bahwa penyerapan nutrien dan penurunan bahan organik secara cepat terjadi pada sepuluh sampai lima belas hari pertama kultivasi. Hal ini terjadi berkaitan

dengan fase pertumbuhan eksponensial. Pada sepuluh hari pertama terjadi penurunan TKN dan fosfat sekitar 83 dan 73 persen untuk limbah cair RPH dan 90 dan 97 persen untuk limbah cair peternakan. Pada hari ke-10 teramatidinya sisa fosfat dan nitrat masing-masing 1,32 mg/L dan 0,01 mg/L untuk limbah cair RPH, dan 0,28 mg/L dan 0,01 mg/L untuk limbah cair peternakan.

Peningkat secara signifikan kualitas efluen diperoleh dari tahapan pemisahan mikroalga, baik dengan koagulasi/flokulasi maupun dengan membran filtrasi. Tergantung pada jenis dan dosis koagulan serta karakteristik medium, kekeruhan medium dapat direduksi hingga mendekati 0 FTU, warna dan TSS hingga sekitar 0 PtCo dan 0 mg/l. Dosis optimum untuk pemisahan mikroalga dari media tumbuh limbah sintetik sekitar 600 mg/L alum atau 400 mg/L PAC, daripada media limbah cair RPH sekitar 400 mg/L alum atau 200 mg/L PAC. Tingkat reduksi TSS, kekeruhan dan warna dengan dosis tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 14. Dosis optimum alum dan PAC untuk pemisahan mikroalga dan tingkat reduksi beberapa parameter kualitas supernatan

Jenis Medium	Jenis koagulan	Dosis optimum (mg/L)	Tingkat Reduksi, dari → ke (% reduksi)		
			Kekeruhan (FTU)	Warna (PtCo)	TSS (mg/L)
Limbah cair Sintetik	Alum	600	170 → 0 (98%)	370 → 8 (98%)	53 → 9 (83%)
	PAC	400	52 → 0 (100%)	310 → 0 (100%)	50 → 17 (65%)
Limbah cair RPH	Alum	400	360 → 7 (98%)	>550 → 50 (≈91%)	200 → 0 (100%)
	PAC	200	273 → 13 (96%)	>550 → 60 (≈90%)	154 → 13 (91%)

Penelitian sebelumnya (Suprihatin *et al.*, 2003) menunjukkan bahwa membran mikrofiltrasi dan ultrafiltration dapat digunakan secara efektif untuk memisahkan mikroalga yang ditumbuhkan dalam limbah cair industri karet dan limbah cair industri tapioka. Metode ini dapat memisahkan secara signifikan berbagai jenis polutan seperti TSS, COD, fosfat, amonium, nitrat, kekeruhan, warna, dan menghasilkan permeat baik (Tabel 5). Permeat yang dihasilkan bebas dari partikel (termasuk bakteri). Berdasarkan parameter yang diukur, permeat yang dihasilkan memenuhi standar buangan industri (Kep. MENKLH No. 51/MENKLH/10/1995) atau standar kualitas air bersih (Permenkes No. 416/MENKES/PER/IX/1990), dan oleh karena itu berpotensi untuk didaur-ulang untuk berbagai keperluan.

Sistem dan Proses Produksi

Secara garis besar sistem tersebut terdiri atas proses penumbuhan mikroalga dan proses pemisahan biomassa mikroalga, keduanya menentukan tingkat kelayakan ekonomi proses produksi mikroalga dan oleh karena perlu dilakukan optimasi secara terintegrasi. Sistem produksi mikroalga dengan media limbah cair agroindustri yang dilakukan secara kontinu menghadapi berbagai kendala, antara lain karena produksi limbah cair agroindustri umumnya berskala kecil atau menengah (RPH dan peternakan). Produksi limbah cair dan pembuangannya sering bersifat curah (*batch*). Selain itu, sistem produksi mikroalga secara kontinu menghadapi kendala dalam pemisahan biomassa karena sistem kultivasi kontinu mempersyaratkan pemisahan biomassa mikroalga secara kontinu pula. Sistem pemisahan mikroalga secara kontinu tidak praktis dilakukan untuk skala produksi kecil dan untuk suplai media tidak kontinu. Untuk mencapai tingkat konsentrasi biomassa dan tingkat eliminasi nutrien tinggi, diperlukan waktu tinggal yang tinggi pula karena dalam sistem ini tidak daur-ulang (*recycle*) biomassa sebagaimana pada sistem pengolahan limbah cair, dengan misalnya dengan sistem lumpur aktif (*activated sludge*). Mempertimbangkan kendala-kendala tersebut, maka untuk memproduksi biomassa mikroalga direkomendasikan dengan sistem *sequencing batch*.

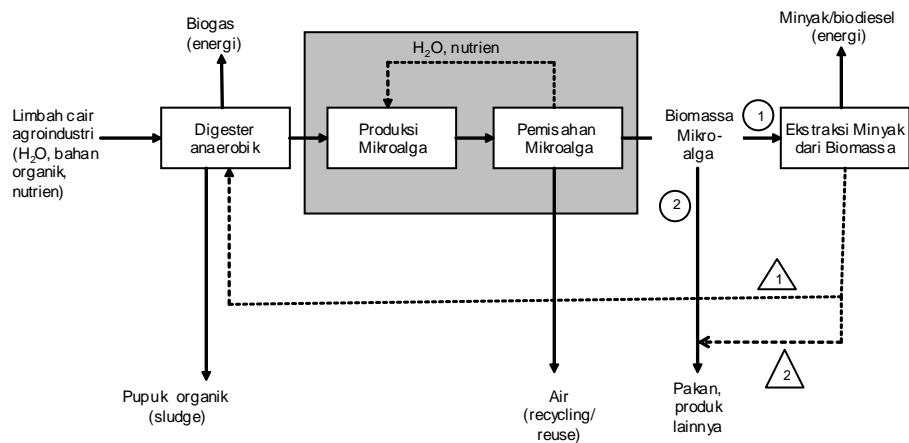
Karena kandungan bahan organik limbah cair RPH maupun limbah cair peternakan masih tinggi maka perlu dilakukan pra-perlakuan secara anaerobik untuk menurunkan kadar COD hingga sekitar 1000-750 mg/L sekaligus untuk menghasilkan biogas (bioenergi). Dalam perlakuan anaerobik ini pengurangan nutrien (N dan P) relatif kecil sehingga tidak mengganggu suplai nutrien bagi mikroalga. Menurut Borja *et al.* (1995) dan Debik dan Coskum (2009) produksi metana spesifik sekitar 250-380 L CH₄/kg COD terdegradasi.

Tabel 5. Kualitas permeat mikro- dan ultrafiltrasi untuk pemisahan mikroalga (Suprihatin *et al.*, 2003)

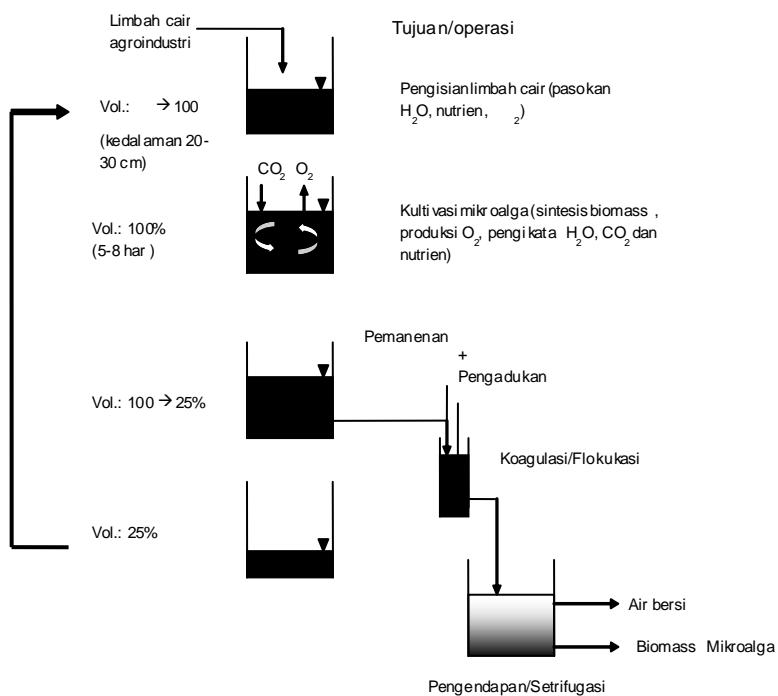
Parameter	Satuan	Microfiltration ($\Delta p = 1,1 - 2,8$ bar, $v = 0,9 - 1,7$ m/s)		Ultrafiltration ($\Delta p = 1,1 - 2,8$ bar, $v = 0,9 - 1,7$ m/s)	
		Feed	Permeate	Feed	Permeate
Limbah cair industri karet					
Warna	PtCo	267 ± 19	19 ± 4	527 ± 7	2 ± 1
Kekeruhan	NTU	45,3 ± 8,5	2,9 ± 0,8	448,7 ± 3,5	1,6 ± 0,4
COD	mg/L	239 ± 5	14 ± 4	233 ± 56	4 ± 2
Nitrat	mg/L	1,49 ± 0,11	0,23 ± 0,02	4,78 ± 0,43	0,14 ± 0,08
Amonium	mg/L	9,92 ± 0,89	0,88 ± 0,01	9,62 ± 0,08	0,81 ± 0,02
Fosfat	mg/L	1,60 ± 0,06	0,01 ± 0,00	0,56 ± 0,06	0,01 ± 0,00
TSS	mg/L	563 ± 3	0 ± 0	679 ± 7	0 ± 0
Limbah cair industri tapioka					
Warna	PtCo	550	62,9 ± 12,8	550	17 ± 2
Kekeruhan	NTU	461	11,7 ± 2,3	461	2,9 ± 0,5
COD	mg/L	157 ± 35	38 ± 8	657 ± 177	8 ± 2
Nitrat	mg/L	6,79 ± 1,77	0,37 ± 0,07	21,82 ± 9,89	0,11 ± 0,03
Amonium	mg/L	12,84 ± 0,03	3,51 ± 0,03	14,44 ± 0,88	0,39 ± 0,03
Fosfat	mg/L	2,91 ± 0,08	0,42 ± 0,02	3,63 ± 1,49	0,01 ± 0,00
TSS	mg/L	1135 ± 70	0 ± 0	2211 ± 183	0 ± 0

Dari kurva pertumbuhan diketahui bahwa pertumbuhan eksponensial berlangsung selama 5-8 hari. Dengan alasan tersebut, disarankan untuk memproduksi mikroalga dalam fase tersebut atau dengan siklus produksi dalam waktu 5-8 hari. Sistem kultivasi dilakukan dengan kolam dengan kedalaman 0,2-0,3 m, dan untuk setiap siklus diperlukan inokulum sebanyak 25% dari volume total (atau dengan kata lain pemanenan hanya dilakukan pada 75% volume media). Pemisahan biomassa mikroalga dilakukan dengan sentrifugasi atau koagulasi/flokulasi-sedimentasi dengan alum atau PAC. Dengan metode ini pemisahan mikroalga dapat dilakukan dengan mudah dan dihasilkan air hasil olahan dengan kualitas sangat baik dan siap untuk didaur ulang. Residu sisa proses ekstraksi minyak dioalah secara anaerobik bersama dalam unit praperlakuan limbah cair secara anaerobik untuk menghasilkan bogas (metana). Skema sistem dan proses produksi mikroalga dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8. Dengan sistem atau proses tersebut dapat diperoleh berbagai manfaat, baik manfaat ekonomis maupun ekologis. Hasil analisis manfaat produksi mikroalga dari limbah cair RPH dan limbah cair peternakan disajikan pada Tabel 6 dan 7, masing tiga skenario yaitu kuantitas limbah cair 300, 600 dan 900 m³. Sebagai ilustrasi, untuk limbah cair RPH diperoleh produktivitas area rata-rata (limbah cair RPH) 32 g/(m².hari) setara dengan eliminasi nutrien dari limbah cair

minimum 0,32 gP/m²/hari dan 3,2 gN/(m².hari).



Gambar 7. Sistem produksi mikroalga dengan media limbah cair agroindustri



Gambar 8. Siklus operasi produksi biomassa mikroalga dengan media limbah cair agroindustri

Table 6. Analisis manfaat sistem produksi biomassa mikroalga dengan media tumbuh limbah Cair RPH

Media tumbuh: Limbah cair RPH

	Kuantitas		Satuan	Keterangan
Kuantitas limbah cair	300	600	900	m ³
Produksi biomassa	0,29	0,58	0,86	ton
Pengambilan P	4	7	11	kg P
Pengambilan N	28	56	85	kg N
Penyerapan CO ₂	576	1152	1728	kg CO ₂
Pelepasan O ₂	240	480	720	kg O ₂
Produksi Biogas dari pra-perlakuan limbah cair	172	344	516	m ³ CH ₄
Produksi Biogas dari pengolahan anaerobik residu biomassa mikroalga	64	127	191	m ³ CH ₄
Air hasil olahan (siap didaur-ulang)	270	540	810	m ³

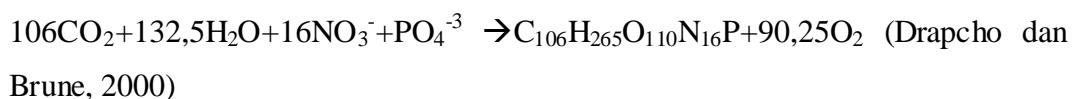
Table 7. Analisis manfaat sistem produksi biomassa mikroalga dengan media tumbuh limbah cair peternakan

Media tumbuh: Limbah cair peternakan

	Kuantitas	Kuan titas	Satuan	Keterangan
Kuantitas limbah cair	300	600	900	m ³
Produksi biomassa	0,23	0,47	0,70	ton
Pengambilan P	3	6	9	kg P
Pengambilan N	23	46	69	kg N
Penyerapan CO ₂	468	936	1404	kg CO ₂
Pelepasan O ₂	195	390	585	kg O ₂
Produksi Biogas dari pra-perlakuan limbah cair	172	344	516	m ³ CH ₄
Produksi Biogas dari pengolahan anaerobik residi biomassa mikroalga	54	107	161	m ³ CH ₄
Air hasil olahan (siap didaur-ulang)	270	540	810	m ³
				90% air limbah diolah menjadi air bersih

Analisis Stoikiometri

Mikroalga banyak diteliti karena tingginya efisiensi fotosintesis dan kemampuan menghasilkan minyak (lipida) (bahan baku biodiesel). Dalam proses pembentukan biomassa, mikroalga membutuhkan nutrien dari media tumbuhnya. Untuk memperkirakan kebutuhan minimum nutrien (atau dalam konteks pengolahan limbah cair, laju penyisihan nutrien) dapat digunakan rumus kimia empiris molekul biomassa mikroalga yang terdapat di literatur: $106CO_2 + 90H_2O + 16NO_3^- + PO_4^{3-} \rightarrow C_{106}H_{180}O_{45}N_{16}P + 154.5O_2$ (Loehr, 1974), $CO_{0,48}H_{1,83}N_{0,11}P_{0,01}$ (Chisti, 2007; Singh *et al.*, 2010), atau $C_{106}H_{265}O_{110}N_{16}P$ (Drapcho dan Brune, 2000). Dengan menggunakan formula tersebut dapat diturunkan persamaan reaksi pembentukan biomassa mikroalga melalui proses fotosintesis dan dengan bantuan persamaan ini dapat diperkirakan laju penyisihan nutrien (N, P) serta laju pengikatan karbon dioksida dan laju pelepasan oksigen:



Berdasarkan persamaan reaksi tersebut di atas, maka dapat disusun perbandingan biomassa terbentuk dengan nutrien dan karbon dioksida yang diserap serta oksigen yang dilepaskan sebagaimana disajikan pada Tabel 8. Sebagai ilustrasi, untuk media limbah cair RPH dengan nilai produktivitas area rata-rata 32 g/(m².hari), dan dengan bantuan persamaan tersebut ai atas, serta mengabaikan tingkat kemurnian biomassa mikroalga yang dipanen, maka diperkirakan laju penyisihan unsur hara fosfor (P) dan nitrogen (N) dari media tumbuh RPH masing-masing sekitar 0,32 g/m²/hari dan 3,2 g/(m².hari). Pada saat yang sama terjadi pengikatan karbon dioksida sekitar 60 g CO₂/(m².hari) dan pelepasan oksigen sekitar 22 g O₂/(m².hari). Laju penyisihan fosfor sepuluh kali lebih besar dibandingkan dengan laju penisihan nitrogen, sehingga dalam beberapa kasus unsur fosfor sering menjadi pembatas pertumbuhan mikroalga.

Tabel 8. Perbandingan biomassa terbentuk dengan nutrien dan karbon dioksida yang diserap serta oksigen yang dilepaskan

	Loehr (1974)	Drapcho and Brune (2000)	Chisti (2007)
N:P	7,2	7,2	5,0
Biomassa:N	10,8	10,4	15,2
Biomassa:P	78,3	75,4	75,4
Biomassa:CO ₂	0,5	0,5	0,5
Biomassa:O ₂	1,5	0,9	1,4

Analisis Daya Saing

Biodiesel dari mikroalga berkompetisi langsung dengan bahan bakar petroleum, yang saat ini merupakan bahan bakar yang paling murah untuk kegiatan transportasi. Tingkat kompetisi biodiesel dari mikroalga terhadap diesel dari petroleum sangat tergantung pada biaya produksi biodiesel dari mikroalga dan pada harga diesel petroleum pada waktu yang bersangkutan. Salah satu pendekatan untuk menganalisis tingkat daya saing ini adalah pendekatan Chisti (2007), yaitu dengan mengestimasi harga maksimum yang dapat dibayar secara rasional untuk biomassa mikroalga dengan kandungan minyak tertentu, jika bahan bakar petroleum kasar sebagai sumber energi dapat dibeli dengan tingkat harga tertentu. Harga estimasi ini kemudian dibandingkan dengan harga produksi biomassa mikroalga untuk mengetahui tingkat kelayakan produksi mikroalga untuk biodiesel.

Kuantitas biomassa mikroalga (M , ton) yang setara dengan energi satu barrel petroleum kasar (massa biomassa mikroalga yang memiliki kandungan energi setara dengan satu barrel minyak) dapat diestimasi dengan persamaan (Chisti, 2007):

$$M = \frac{E_{\text{petroleum}}}{q(1-w)E_{\text{biogas}} + y.w.E_{\text{biodiesel}}} \quad (3)$$

Dengan $E_{\text{petroleum}}$ merupakan energi yang terkandung dalam satu barrel petroleum kasar ($\approx 6.100 \text{ MJ}$), q volume biogas dari proses degradasi anaerobik residu biomassa mikroalga setelah diekstrak minyaknya (m^3/ton), w kadar minyak biomassa mikroalga (% berat), E_{biogas} kandungan energi biogas (MJ/m^3), y perolehan biodiesel dari minyak mikroalga (tipikal: 80% berat), dan $E_{\text{biodiesel}}$ kandungan energi rata-rata biodiesel ($\approx 37.800 \text{ MJ/ton}$). Dengan E_{biogas} dan q

masing-masing $23,4 \text{ MJ/m}^3$ dan $400 \text{ m}^3/\text{ton}$, nilai M dalam persamaan (4) dapat dihitung untuk nilai w dan $E_{\text{petroleum}}$ tertentu.

Dengan asumsi bahwa biaya konversi satu barrel minyak kasar menjadi minyak diesel yang siap pakai untuk transportasi sekitar sama dengan biaya konversi M ton biomassa mikroalga menjadi biodiesel, harga biomassa mikroalga ($H_{\text{mikroalga}}$, US\$/ton) harus maksimum sama dengan harga satu barrel minyak kasar ($H_{\text{petroleum}}$, US\$/barrel):

$$H_{\text{mikroalga}} = \frac{H_{\text{petroleum}}}{M} \quad (4)$$

Kombinasi persamaan (4) dan (5) menghasilkan persamaan berikut:

$$H_{\text{mikroalga}} = \frac{q(1-w)E_{\text{biogas}} + y.w.E_{\text{biodiesel}}}{E_{\text{petroleum}}} \cdot H_{\text{petroleum}} \quad (5)$$

Pada tingkat harga minyak kasar saat ini sekitar \$100/barrel, biomassa mikroalga dengan kandungan minyak sekitar 14,7% (hasil penelitian ini) diproduksi pada tingkat biaya harus kurang dari US\$200/ton (sekitar Rp 2 jt/ton) agar dapat berkompetisi terhadap diesel petroleum.

Analisis tersebut di atas belum memperhatikan kemungkinan keuntungan lain baik keuntungan ekonomis maupun keuntungan lingkungan seperti produksi biogas pada pra-perlakuan limbah cair untuk mereduksi kandungan bahan organik (potensi sekitar 0,26 L CH₄ per g COD yang disisihkan (Borja *et al.*, 1995; Debik dan Coskun, 2009)), produksi pupuk organik dari digester anaerobik, hasil samping berupa bahan pakan atau produk bernilai tinggi lainnya, penurunan emisi gas rumah kaca, pengolahan limbah cair, recycling nutrien, recycling air, dan pencegahan eutrofikasi di boda air penerima, serta keutungan sosial.

Produksi mikroalga untuk produksi energi sekala besar saat ini masih dalam fase pengembangan (Roesch *et al.*, 2009). Biaya produksi biodiesel berbasis mikroalga masih memerlukan penurunan secara signifikan agar dapat kompetitif sumber diesel lainnya.

KESIMPULAN

Dari ketiga limbah cair agroindustri yang diuji, limbah cair RPH dan peternakan dapat digunakan sebagai substrat pertumbuhan mikroalga, sedangkan limbah cair industri gula tidak sesuai karena keterbatasan sumber nutrien. Tergantung pada karakteristik media tumbuh, pertumbuhan eksponensial mikroalga teramat mulai terjadi pada hari ke-4 kultivasi. Setelah 12-15 mulai teramat terjadi fase kematian. Selama fase eksponensial konsentrasi biomassa meningkat dari 400 menjadi 1930 mg/L untuk media limbah cair RPH dan 190 menjadi 2130 mg/L untuk media limbah cair peternakan sapi. Dalam fase pertumbuhan eksponensial tersebut diperoleh produktivitas volumetrik rata-rata (selang) 160 (140-180) mg/L/hari untuk media limbah cair RPH dan 130 (55-200) mg/L/hari untuk media limbah cair peternakan. Dengan kedalaman kolam 0,2 m, nilai ini setara dengan produktivitas area rata-rata (selang) 32 (28-35) dan 26 (11-41) g/m²/hari untuk masing-masing limbah cair tersebut di atas. Analisis menggunakan pendekatan stoikiometri pada fase eksponensial pertumbuhan mikroalga dengan media tumbuh limbah cair RPH, dimana produktivitas volumetrik mikroalga berkisar antara 140 dan 180 mg/(L.hari), atau setara dengan produktivitas area 28-35 g/(m².hari), nilai penyisihan unsur hara fosfor (P) dan nitrogen (N) dari media tumbuh masing-masing sekitar 0,32 g/m²/hari dan 3,2 g/(m².hari). Pada saat yang sama terjadi pengikatan karbon dioksida sekitar 60 g CO₂/(m².hari) dan melepas oksigen sekitar 22 g O₂/(m².hari).

Hasil identifikasi jenis mikroalga (fitoplankton) dari sampel media limbah cair RPH menunjukkan jenis mikroalga yang dominan adalah *Chlorella* sp. Dalam sampel media tersebut teramat hanya sejumlah kecil jenis *Scenedesmus* sp, dan *Ankistrodesmus* sp. Ketiga jenis mikroalga tersebut di atas sangat berbeda dengan jenis mikroalga yang tumbuh dalam inokulum. Hal ini mengindikasikan bahwa komposisi spesifik limbah cair dapat menseleksi jenis secara alamiah mikroalga tertentu.

Pemisahan mikroalga merupakan tahapan yang paling kritikal dalam produksi mikroalga karena tahapan ini menentukan biaya produksi dan kualitas hasil. Pemisahan mikroalga dari media tumbuh limbah cair RPH dan limbah cair sintetik dapat dilakukan secara efektif dengan metode koagulasi/flokulasi. Efektivitas pemisahan mikroalga sangat ditentukan oleh jenis dan dosis kuagulan

serta jenis (karakteristik) media tumbuh mikroalga. Meskipun dosis optimum alum lebih tinggi dibandingkan dengan dosis PAC tetapi karena harga alum relatif lebih murah, pemisahan mikroalga dengan alum relatif lebih murah dibandingkan dengan PAC. Kualitas efluen cukup baik dilihat dari parameter kekeruhan, warna, dan TSS, dan memungkinkan untuk didaur-ulang untuk keperluan tertentu. Pemanfaatan kembali air hasil olahan dapat berkontribusi dalam usaha konservasi sumberdaya air dan sekaligus mengurangi biaya produksi mikroalga.

Mempertimbangkan kendala-kendala dalam memproduksi dengan sistem kontinu, maka untuk memproduksi biomassa mikroalga direkomendasikan dengan sistem *sequencing batch*. Limbah cair RPH maupun limbah cair peternakan perlu dilakukan pra-perlakuan secara anaerobik untuk menurunkan kadar COD hingga sekitar 1000-750 mg/L sekaligus untuk menghasilkan biogas (bioenergi). Produksi mikroalga dilakukan dalam fase eksponensial yaitu dengan siklus produksi dalam waktu 5-8 hari. Sistem kultivasi dilakukan dengan kolam dengan kedalaman 0,2-0,3 m, dan untuk setiap siklus diperlukan inokulum sebanyak 25% dari volume total (pemanenan hanya dilakukan pada 75% volume media). Pemisahan biomassa mikroalga dilakukan dengan sentrifugasi atau koagulasi/flokulasi-sedimentasi dengan alum atau PAC. Air hasil olahan dengan kualitas sangat baik dan dapat didaur ulang untuk berbagai keperluan. Residu sisa proses ekstraksi minyak dioalah secara anaerobik bersama dalam unit pra-perlakuan limbah cair secara anaerobik untuk menghasilkan bogas (metana).

Sistem produksi berpotensi memberikan manfaat ekonomi (produktivitas tinggi) dan manfaat lingkungan (konservasi air, recycling nutrien / pencegahan eutrofikasi, dan substitusi bahan bakar fosil (reduksi emisi Gas Rumah Kaca). Kedua manfaat tersebut dapat berkontribusi terhadap keberlanjutan pembangunan pertanian (*sustainable agriculture*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan

Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional atas dukungan finansial melalui Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional tahun 2009-2010. Terima kasih disampaikan juga pada Angga Yuhistira A., Rachmad Danausubrata, STP., Wynda Julia Rahmasari, STP., dan Suryana Manulu, STP. atas bantuannya dalam pelaksanaan pekerjaan laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th, ed. American Public Health Association (APHA), Washington DC
- Avagyan, A. 2008. Global prospects for microalgae production for biofuels and for the preservation of nature. *Global Fuels Magazine* February 2008, pp. 22-27
- Ben-Amotz, A. 2009. production of microalgae in open ponds. The Natural Institute of Oceanography, Israel Oceanographic and Limnology research Haifa, Israel
- Borja, R., Banks, C.J and Wang, Z. 1995. Effect of organic loading rate on anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in a fluidized-bed reactor. *Bioresource Technology*, p. 157-162
- Chisti, Y. 2007. "Biodiesel from microalgae". *Biotechnology Advances* 25 (2007), pp. 294-306
- Debik, E. and T. Coskun 2009. Use of the Static Granular Bed Reactor (SGBR) with anaerobic sludge to treat poultry slaughterhouse wastewater and kinetic modeling *Bioresource Technology*. Volume 100, Issue 11, June 2009, p. 2777-2782
- Drapcho, C.M. and D.E. Brune. 2000. The partitioned aquaculture system: impact of design and environmental parameters on algal productivity and photosynthetic oxygen production. *Aquacultural Engineering* 21 (200), 151-168
- Fachrul, M.F., Haeruman, H., dan Sitepu, L.C. 2005. Komunitas fitoplankton sebagai bio-indikator kualitas perairan Teluk Jakarta. Seminar Nasional MIPA UI. Depok, 24-26 November 2005
- FAO. 1996. Manual on The Production and Use of Live Food for Aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper. <http://www.fao.org>. [11 Februari 2009].
- Garcea, J., Nemeddine, A. and Hamouri, B.E. 2000. Wastewater treatment by pond system: Experiences in Catalonia, Spain. *J. Water Sci. and Technol.*, 41(10-11), p. 35-42

- Gheynst, J.V. 2008. Future of microalgae in clean technology. Biological and Agricultural Engineering, Davis University of California. Artikel online: www.ucop.edu/ott/industry/documents/VanderGheynst-CleanTech.pdf
- Graham, J.M., Kent, D.D., Lauster, G.H., Yannarell, A.C., Graham, L.E. and Triplett, E.W., 2004. Seasonal Dynamics of Phytoplankton and Planktonic Protozoan Communities in a Northern Temperate Humic Lake: Diversity in a Dinoflagellate Dominated System. *Microbial Ecology*, Volume 48, p. 528–540
- Hillebrand, H and Sommer, U. 2000. Diversity of benthic microalgae in response to colonization time and eutrophication. *Aquatic Botany* 67, p. 221–236
- Lim, S.-L., Chu, W.-L., Phang, S.-M., (2010). “Use of Chlorella vulgaris for bioremediation of textile wastewater”. *Bioresource Technology* 101, p.7314–7322
- Loehr, R. C. 1974. Agricultural Waste Management: Problem, Process, and Approach. Academic Press, New York.
- NREL. 1998. A Look Back at the US Department of Energy’s Aquatic Species Program: Biodiesel from Microalgae. US National Energy Department
- Park, J.B.K., Craggs, R.J., and Shilton, A.N. 2010. Water treatment high rate algal ponds for biofuel production. Article in press. Bioresour. Technol. (2010), doi:10.1016/j.biortech.2010.06.158
- Pedroni, P. and Banemann, J. 2003. Microalgae for greenhouse gas abatement: An international R & D opportunity. Ambiente TPoint 1/2003, p. 24-28
- Phang, S.M., Miah, M.S., Yeoh, B.G., Hashim, M.A., (2000). “Spirulina cultivation on digested sago starch factory wastewater”. *J. Appl. Phycol.* 12, 395–400.
- Roesch, C., J. Skarka, J. And A. Patyk. 2009. Microalgae – Opportunities and Challenges of an innovative energy source. 17th European Biomass Conference and Exhibition, 29 June – 3 July, Hamburg, Germany
- Shelef, G. and Azov, Y. 2000. Meeting stringent environmental and reuse requirements with an integrated pond system for the twenty-first century. *Water Sci. and Technol.* 42(10-11), P. 299-305
- Singh, A., Nigam, P.S., Murphy, J.D., (2010). “Renewable fuels from microalgae: An answer to debatable land based fuels. Bioresour. Technol. (2010). Article in press, doi:10.1016/j.biortech.2010.06.032
- Suprihatin. 1989. Kajian Daya dukung Alaga Terhadap Proses Dekomposisi Mikrobiologik Limbah Cair Industri Tapioka. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor

Suprihatin, Romli, M. and Ismayana, A. 2003. Application of Crossflow membrane separation for algal removal of treated agroindustrial effluent for reuse purpose. Presented on the Indonesia Toray Foundation Seminar. Jakarta February 3-4, 2003

OPTIMASI SUHU DAN WAKTU KEMPA DALAM PEMBUATAN PAPAN PARTIKEL TANPA PEREKAT DARI KAYU MINDI (*Melia Azedarach*)
(Optimization of Temperature and Pressing Time to Produce Binderless Particleboard made from Mindi (*Melia Azedarach*))

Yusuf Sudo Hadi¹⁾, Muh. Yusram Massijaya²⁾, Adi Santoso³⁾, Suhasman³⁾

¹⁾Dep. Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB

²⁾Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Kementerian Kehutanan

³⁾Mahasiswa Program Doktor, Sekolah Pascasarjana IPB/ Fakultas Kehutanan
Universitas Hasanuddin, Makassar

ABSTRAK

Penelitian ini ditujukan untuk menganalisis pengaruh suhu dan waktu kempa terhadap karakteristik papan partikel tanpa perekat, serta menentukan kondisi proses pengempaan yang optimal. Partikel kayu mindi (*Melia azedarach*) dalam kondisi kering udara dioksidasi dengan hydrogen peroksida dan fero sulfat untuk mengaktifkan komponen kimia partikel. Partikel teroksidasi selanjutnya dikempa panas dengan kondisi yang bervariasi yaitu suhu 140, 160, 180°C dan waktu kempa 6, 9, 12, 15 menit. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu kempa, dan semakin lama waktu kempa cenderung menghasilkan papan partikel dengan karakteristik yang semakin baik. Namun demikian, pengaruh suhu cenderung lebih dominan dibandingkan dengan pengaruh waktu kempa. Berdasarkan karakteristik papan partikel yang dihasilkan serta pertimbangan efisiensi penggunaan energi selama proses pengempaan, maka kombinasi suhu dan waktu kempa terbaik dalam pembuatan papan partikel tanpa perekat adalah 180°C dan 9 menit. Papan partikel tersebut memenuhi persyaratan *Japanese Industrial Standard (JIS) A 5908 2003* (papan partikel tipe 8) untuk parameter kadar air, pengembangan tebal, modulus elastisitas, serta keteguhan rekat. Hanya parameter keteguhan patah yang belum memenuhi standar.

Kata kunci : Papan partikel tanpa perekat, *Melia azedarach*, hidrogen peroksida, suhu kempa, waktu kempa

ABSTRACT

The purpose of this research were to analyze the effect of temperature and pressing time and to determine the optimum pressing condition on characteristic of binderless particleboard. Mindi (*Melia azedarach*) particle in air dry condition was oxidized using hydrogen peroxide and ferrous sulphate to activate the chemical component of wood particles. Oxidized particle then hot pressed in various conditions, namely 140, 160, 180°C in temperatures and 6, 9, 12, 15 minutes in pressing time. The results showed that characteristics of binderless particleboard increases when temperature and pressing time increases. However, the effect of temperature tends to be more significant compared to pressing time. Based on characteristics of the produced particleboard and energy consumption consideration during hot pressing, the best combination of temperature and pressing time was 180°C and 9 minutes. The binderless particleboard have fulfilled Japanese Industrial Standards (JIS) A 5908 2003 (Type 8) in term of moisture content, thickness swelling, modulus of elasticity, and internal bond parameters. Only modulus of rupture has not yet fulfilled the standard.

Keywords : Binderless particleboard, *Melia azedarach*, hydrogen peroxide, temperature, pressing time

PENDAHULUAN

Usaha pengembangan teknologi alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam pembuatan papan partikel masih membutuhkan berbagai inovasi. Hal ini

disebabkan teknologi yang ada di industri dewasa ini senantiasa melibatkan penggunaan perekat. Padahal sebagian besar (96,6%) perekat yang digunakan mengandung senyawa formaldehida yang potensial mengganggu kesehatan (Li *et al*, 2002). Selain itu, bahan baku perekat juga masih didominasi oleh senyawa turunan minyak bumi sehingga bahan bakunya tidak terbarukan.

Usaha untuk mengatasi permasalahan tersebut antara lain dilakukan dengan mengembangkan teknologi pembuatan papan partikel tanpa perekat. Pembuatan papan partikel tanpa perekat dapat dilakukan dengan mengaktifkan komponen kimia penyusun kayu. Dengan usaha aktivasi tersebut, maka partikel kayu diharapkan dapat berikatan sendiri tanpa tambahan perekat (Karlsson & Westermark 2002, Widsten *et al*, 2003, Widsten & Kandlbauer, 2008).

Prinsip dasar teknologi yang dikembangkan ini adalah dengan melakukan aktivasi lignin baik dengan menggunakan enzim maupun hydrogen peroksida. Dari kedua metode tersebut, metode oksidasi dengan hydrogen peroksida tampak lebih menjanjikan karena kesederhanaan metodenya dan kecepatan aktivasinya. Namun demikian, publikasi-publikasi yang tersedia (Laemsak & Okuma, 2000; Karlsson & Westermark 2002; Okuda *et al*. 2005; Kunsuwan *et al*. 2005; Xu *et al*. 2006; Widsten & Kandlbauer 2008) mengindikasikan adanya perbedaan kualitas produk yang sangat nyata di antara berbagai jenis bahan baku. Padahal sejauh ini, teknologi tersebut lebih banyak dikembangkan di Eropa dan Jepang yang menggunakan jenis bahan baku lokal. Selain itu, penelitian yang telah dilaksanakan masih difokuskan pada usaha menginvestigasi fenomena ikatan yang terbentuk dan potensi kelayakan penggunaan metode tersebut, sementara penelitian tentang optimasi proses pembuatan seperti halnya pengaruh suhu dan waktu kempa belum dilaporkan. Selain itu, sejauh ini usaha pengembangan teknologi produksi papan partikel tanpa perekat yang berbasis pada bahan baku kayu yang ada di Indonesia dan jenis-jenisnya dibudidayakan secara luas oleh masyarakat belum dikembangkan.

Hasil penelitian kami sebelumnya (Suhasman *et al*. 2010 & 2011; Hadi *et al*. 2010) telah menunjukkan bahwa partikel dengan kondisi kering udara tanpa perlakuan, waktu oksidasi 15-30 menit, serta kombinasi kadar hydrogen peroksida

sebesar 15% berdasarkan berat kering partikel dan kadar fero sulfat sebesar 7,5% adalah kondisi terbaik untuk pembuatan papan partikel tanpa perekat dari jenis kayu mindi. Usaha lebih lanjut dibutuhkan untuk menentukan suhu serta waktu kempa terbaik. Oleh karena itu, penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh suhu dan waktu kempa terhadap karakteristik papan partikel tanpa perekat serta menentukan suhu dan waktu kempa yang optimal.

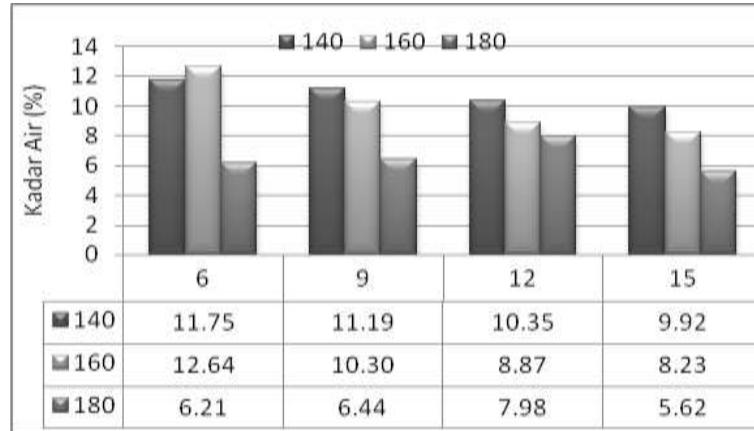
METODE PENELITIAN

Partikel kayu mindi (*Melia azedarach*) dalam kondisi kering udara dengan ukuran lolos saringan 10 saringan mesh dan tertahan saringan 20 mesh dioksidasi menggunakan hydrogen peroksida 15% berdasarkan berat kering partikel dan 7,5% fero sulfat berdasarkan berat hydrogen peroksida. Partikel tersebut dikondisikan pada suhu ruangan selama 15-30 menit sebelum dibentuk menjadi lembaran (Mat). Mat kemudian dikempa panas dengan suhu dan waktu kempa yang bervariasi. Suhu kempa terdiri atas 3 taraf yaitu 140, 160, dan 180°C sedangkan waktu kempa terdiri atas 4 taraf yaitu 6, 9, 12, dan 15 menit. Ukuran papan partikel yang dibuat adalah $(30 \times 30 \times 0,7) \text{ cm}^3$ dengan kerapatan sasaran $0,75 \text{ g cm}^{-3}$. Papan yang telah dibuat selanjutnya dikondisikan selama 10 hari sebelum dipotong menjadi contoh uji.

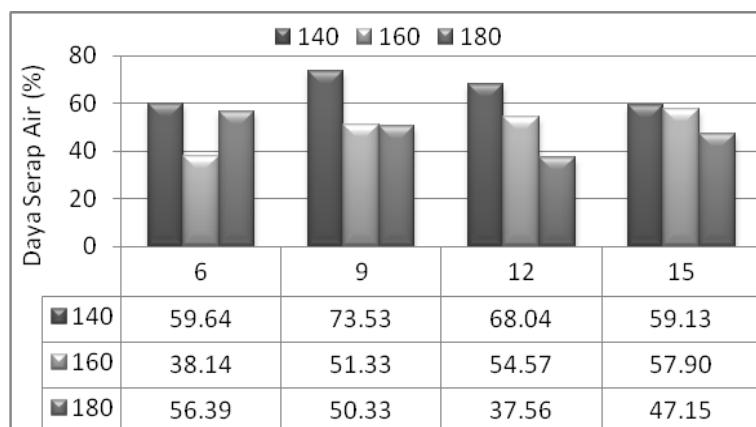
Pengujian dilakukan berdasarkan Japanese Industrial Standard (JIS) A 5908 2003. Ammeterter yang diuji meliputi kadar air, daya serap air, pengembangan tebal, keteguhan patah atau *modulus of rupture* (MOR), modulus elastisitas atau *modulus of elasticity* (MOE) serta keteguhan rekat. Data-data yang diperoleh selanjutnya dianalisis secara deskriptif untuk melihat perbandingan karakteristik produk yang dibuat dengan suhu dan waktu kempa yang bervariasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

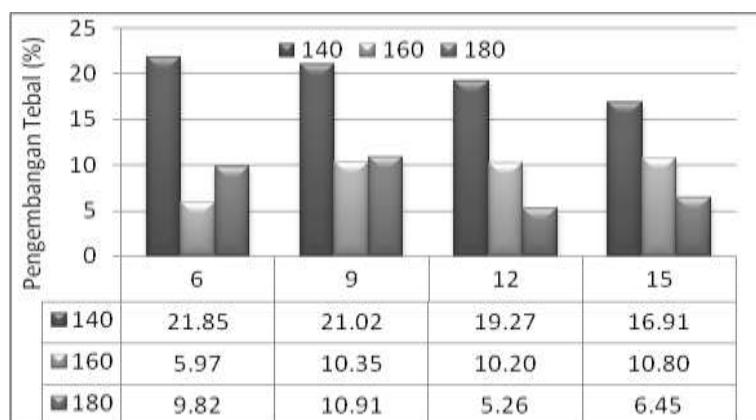
Data pada Gambar 1-6 menunjukkan kecenderungan perbaikan karakteristik papan partikel seiring dengan peningkatan suhu dan waktu kempa. Pada parameter kadar air, terjadi penurunan kadar air keseimbangan seiring dengan meningkatnya suhu kempa. Hal yang sama juga terlihat pada waktu kempa, meskipun penurunannya tidak signifikan pada suhu kempa. Meskipun demikian, secara keseluruhan nilai-nilai kadar air yang dicapai pada semua papan masih memenuhi standar JIS A 5908 2003 (5-15%). Suhu kempa yang lebih tinggi serta waktu kempa yang lebih lama tampaknya menyebabkan uap air yang dilepaskan lebih banyak selama proses pengempaan. Pada saat pengkondisian, ternyata masing-masing jenis papan tersebut mencapai kadar air keseimbangan yang berbeda-beda. Tampaknya hal ini diakibatkan oleh proses hysteresis dalam partikel kayu, dimana jumlah air yang dilepaskan pada saat kempa panas akan lebih besar dibandingkan jumlah air yang mampu diserap pada saat pengkondisian selama 2 minggu. Hal inilah yang menyebabkan kadar air keseimbangan papan yang dikempa lebih lama dan suhu yang lebih tinggi memiliki nilai yang lebih rendah.



Gambar 1. Kadar Air Papan Partikel Kayu Mindi pada Suhu dan Waktu Kempa yang Bervariasi



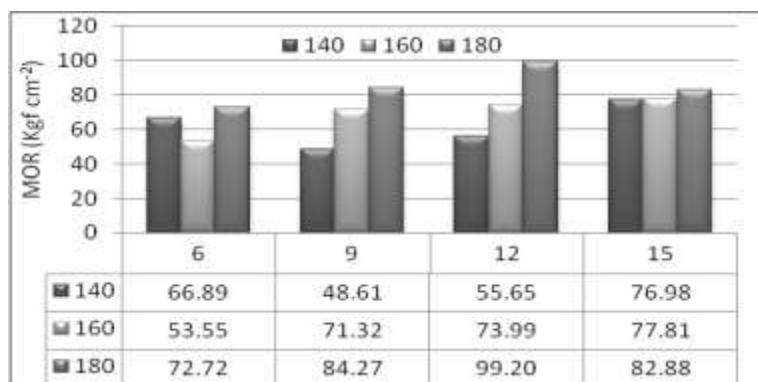
Gambar 2. Daya serap Air Papan Partikel Kayu Mindi pada Suhu dan Waktu Kempa yang Bervariasi



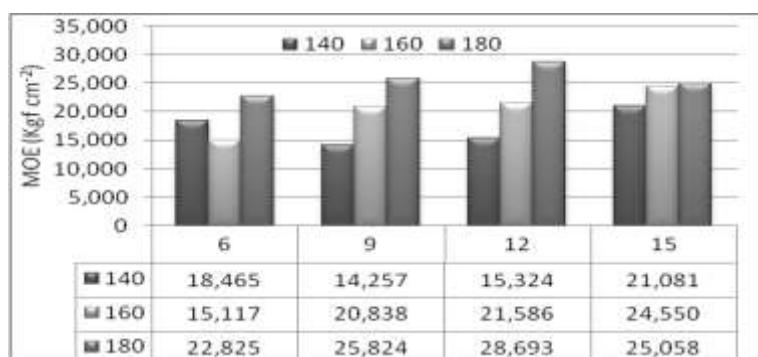
Gambar 3. Pengembangan Tebal Papan Partikel Kayu Mindi pada Suhu dan Waktu Kempa yang Bervariasi

Dalam hal pengembangan tebal papan juga semakin baik seiring dengan peningkatan suhu dan waktu kempa. Nilai-nilai pengembangan tebal papan cenderung menurun dengan semakin lamanya waktu pengempaan. Namun demikian tampak bahwa perbaikan relative tidak signifikan. Akan tetapi perbaikan drastis terjadi seiring dengan peningkatan suhu kempa. Perbaikan stabilitas dimensi dari suhu kempa 140°C ke 180°C terjadi secara signifikan pada semua level waktu kempa yang digunakan. Hal ini mengindikasikan bahwa peran suhu dalam perbaikan stabilitas dimensi papan (penurunan pengembangan tebal) jauh lebih dominan dibandingkan dengan waktu kempa. Dengan demikian suhu 180°C

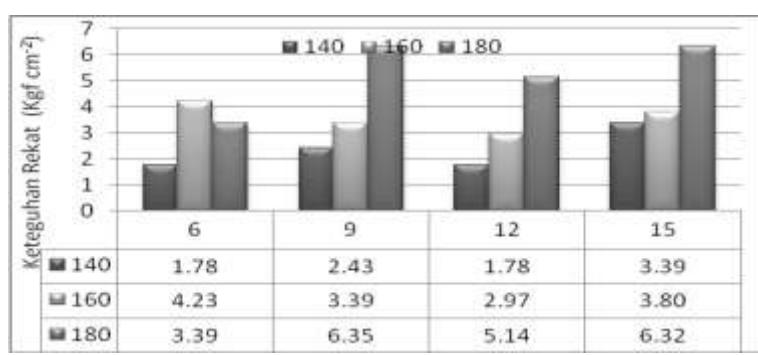
dengan waktu kempa hanya 9 menit sudah memadai untuk menghasilkan papan partikel dengan stabilitas dimensi yang tinggi.



Gambar 4. Keteguhan Patah Papan Partikel Kayu Mindi pada Suhu dan Waktu Kempa yang Bervariasi



Gambar 5. Modulus Elastisitas Papan Partikel Kayu Mindi pada Suhu dan Waktu Kempa yang Bervariasi



Gambar 6. Keteguhan rekat Papan Partikel Kayu Mindi pada Suhu dan Waktu Kempa yang Bervariasi

Dalam hal sifat mekanis, yang terdiri atas MOR, MOE, dan keteguhan rekat, nilai-nilainya secara umum juga meningkat seiring dengan meningkatnya suhu dan waktu kempa. Serupa dengan stabilitas dimensi, perbaikan sifat-sifat mekanis papan juga lebih dipengaruhi oleh suhu kempa dibandingkan dengan waktu kempa. Tampaknya, penggunaan suhu di atas titik transisi glass lignin (titik transisi glass 170°C) akan lebih memudahkan dalam pembentukan ikatan dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah.

Dengan memperhatikan fenomena yang ditemukan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa usaha efisiensi energi lebih baik dilakukan dengan mengurangi waktu kempa dibandingkan dengan menurunkan suhu pengempaan. Hasil-hasil pengujian sebagaimana disajikan pada gambar-gambar tersebut diatas menunjukkan bahwa pada suhu 180°C , hanya dengan waktu kempa 9 menit, secara umum parameter sifat fisik dan mekanis seperti pengembangan tebal (maksimal 12%), MOE (minimal $20.000 \text{ kgf cm}^{-2}$) serta keteguhan rekat (minimal $1,5 \text{ kgf cm}^{-2}$) yang ditetapkan dalam JIS A 5908 2003 sudah dapat dicapai. Hanya parameter MOR (minimal 80 kgf cm^{-2}) yang belum terpenuhi.

KESIMPULAN

Dalam proses pembuatan papan partikel tanpa perekat, suhu kempa memiliki pengaruh yang lebih dominan dibandingkan dengan waktu pengempaan, meskipun keduanya berpengaruh positif. Semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu kempa, karakteristik papan partikel yang dihasilkan akan semakin baik. Berdasarkan evaluasi aspek teknis dan efisiensi penggunaan energy selama proses pengempaan, maka kombinasi suhu dan waktu kempa terbaik dalam pembuatan papan partikel tanpa perekat dengan ketebalan 7 mm adalah 180°C dan 9 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional atas dukungan dana dalam penelitian ini melalui Skim Hibah Kompetitif Penelitian Strategis Nasional

Nomor: 189/SP2H/PP/DP2M/III/2010, tanggal 01 Maret 2010 dengan judul penelitian *Pengembangan Teknologi Alternatif Ramah Lingkungan: Pembuatan Papan Partikel tanpa Perekat Menggunakan Kayu dari Hutan Rakyat*. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada LPPM IPB atas dukungan yang diberikan dalam pelaksanaan hibah penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [JSA] Japanese Standards Association, 2003. Particleboards. Japanese Industrial Standar (JIS) A 5908-1993. Japan.
- Hadi Y S, M Y Massijaya, A Santoso, Suhasman, 2010. Pengembangan Teknologi Alternatif Ramah Lingkungan : Pembuatan Papan Partikel Tanpa Perekat Menggunakan Kayu Dari Hutan Rakyat. Laporan Akhir Hibah Kompetitif Penelitian Strategis Nasional. LPPM Institut Pertanian Bogor.
- Karlsson O, U Westermark, 2002. Resin-free Particleboard by Oxidation of Wood. In : Humphrey P E, compiler. Proceedings of The 6th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium & Workshop on The Chemical Modification of Cellulosics. Portland, Oregon, USA.
- Kunsuwan K, N Okuda, M Sato, 2005. Study on the Manufacturing Conditions and the Mechanical Properties Bamboo Binderless particleboard. Proceeding of International Symposium on Wood Science and Technoloy (Poster Pesentation). Pacifico Yokohama, Japan, November 27-30.
- Laemsak N, M Okuma, 2000. Development of Board made from Oil Palm Frond II: Properties of Binderless Boards from Steam Exploded Fibers of Oil Palm Frond. Japan Wood Research Society. Journal of Wood Science, Vol 46, pp. 322-326.
- Li K, 2002. Use of Marine Ahesive Protein as a Model to Develop Formaldehyde-Free Wood Adhesives, in Proceeding the 6th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium,. Oregon State University. Oregon USA.
- Okuda N, K Hori, M Sato, 2005. The Bond Durability of Kenaf Core Binderless Board. Proceeding of International Symposium on Wood Science and Technoloy (Poster Pesentation). Pacifico Yokohama, Japan, November 27-30.
- Suhasman, Y S Hadi, M Y Massijaya, A Santoso, 2010. Hydrogen Peroxide and Ferrous Sulphate Activated Wood Particles for Binderless Particleboard. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis. Vol 8(1):1-8

Suhasman, Y S Hadi, M Y Massijaya, A Santoso, 2011. Particle Oxidation Time for the Manufacture of Binderless Particle Board. Wood Research Journal. Vol 2(1):9-18 *in press*

Widsten P, P Qvintus-Leino, S Tuominen, J E Laine, 2003. Manufacture of Fiberboard from Wood Fibers Activated with Fenton's Reagent ($H_2O_2/FeSO_4$). Germany. Holzforschung, 57: 447–452.

Widsten P, A Kandlbauer, 2008. Adhesion improvement of lignocellulosic products by enzymatic pre-treatment. Elsevier. Journal of Biotechnology Advances, 26 : 379–386

Xu J, R Widyorini, H Yamauchi, S Kawai, 2006. Development of binderless fiberboard from kenaf core. Japan. Journal of Wood Science, 51 :415-420 .

INDEKS PENELITI

A

- A Purwito, 729
A Husni, 729
Ade Iskandar, 76
Ahmad Ansori Mattjik, 709
Akhirudin Maddu, 824
Alimuddin, 749
Anas Miftah Fauzi, 786
Ardian Arif, 828
Ari Purbayanto, 837
Andes Ismayana, 872
Adi Santoso, 898

B

- Bambang H. Trisasonko, 786

D

- Dedi Fardiaz, 813
Dedi Wahyudi, 761
Djarot Sasongko Hami Seno, 775
Dwi Setyaningsih, 761
Dian Indrawatie, 833

E

- Emmy Darmawati, 858

F

- Faisal Ahmad, 803

G

- GP Ganda Putri, 813

H

- Hadi K Purwadaria, 813
Hari Wijayanto, 786
Harton Arfah, 749
Hendradi Hardhienata, 786

- Henry M. Manik, 803
Heriyanto Syafutra, 824

I

- I Made Sumertajaya, 709
Irzaman, 786
Irzaman, 824
Ihsan Surur, 824

M

- M Kosmiatin, 729
Muhammad Arif Yudiarto, 761
Muhammad Zairin Jr., 749
Mochammad Riyanto, 833
Muhammad Romli, 872
Muh. Yusram Massijaya, 898

R

- Radite P.A.S, 848

S

- Soeharsono, 848
Sutrisno, 858
Sugiyono, 858
Suprihatin, 872
Suhasman, 898
Sri Mulato, 817
Sukrisno Widjyotomo, 813

T

- Tri Joko Santoso, 775

Y

- Yusuf Sudo Hadi, 898

Z

- Zainal Alim Mas'ud, 775

Mencari dan Memberi yang Terbaik

ISBN 978-602-8853-13-2 (jil.3)



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