ISBN: 978-979-95093-4-5

Prosiding
Seminar Nasional Sains

Peran Sains dalam Kebangkitan Pertanian

Bogor, 1 November 2008

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Pertanian Bogor
Bogor

2008

ISBN: 978-979-95093-4-5

Prosiding
Seminar Nasional Sains

Peran Sains dalam Kebangkitan Pertanian

Bogor, 1 November 2008

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Pertanian Bogor
Bogor

2008

Copyright© 2008
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Institut Pertanian Bogor (IPB)
Prosiding Seminar Nasional Sains: ***"Peran Sains dalam Kebangkitan Pertanian"***
Bogor, 1 November 2008
FMIPA-IPB, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680
Telp/Fax: 0251-8625481/8625708
http://fmipa.ipb.ac.id

vii + 269 halaman

ISBN: 978-979-95093-4-5

KATA PENGANTAR

Sektor pertanian selain merupakan tumpuan perekonomian bangsa Indonesia, juga sangat berpengaruh terhadap ketahanan bangsa. Terjadinya krisis pangan dan energi merupakan contoh ketidaksiapan sektor pertanian menghadapi tuntutan zaman. Oleh karena itu, peningkatan produktivitas pertanian secara signifikan baik kuantitas maupun kualitas merupakan keharusan untuk mengatasi berbagai krisis terkait pertanian ini.

Penguasaan, pengembangan dan penerapan sains merupakah langkah yang strategis untuk peningkatan produktivitas pertanian secara signifikan. Berkembangnya bioteknologi adalah contoh nyata dari pentingnya sains dalam menjawab tantangan ini. Kini, nanoteknologi merupakan tantangan dan peluang bagi peneliti sains untuk mengembangkannya ke arah pertanian (Nanoteknologi Pertanian). Pemodelan dan teknologi sensor telah dimanfaatkan untuk mengembangkan *precission farming* dan meningkatkan efisiensi pertanian merupakan contoh lain pentingnya sains dalam pertanian. Dukungan sains, juga sangat diperlukan dalam upaya mengatasi krisis energi dengan berbagai sumber energi alternatif. Sains akan berperan dalam memahami dan mengembangkan proses biologis, kimiawi maupun fisik sehingga energi alternatif menjadi menguntungkan secara ekonomi dan ramah lingkungan.

Seminar Nasional Sains yang dilaksanakan pada tanggal 1 Nopember 2008 mengambil tema ***"Peran sains dalam kebangkitan pertanian"*** dengan tujuan untuk mengidentifikasi potensi hasil-hasil penelitian sains, pengembangan dan prospeknya untuk mendukung kebangkitan pertanian dalam upaya mengatasi krisis pangan dan energi. Seminar Nasional Sains ini juga merupakan bagian dari kegiatan Pesta Sains 2008 tingkat nasional yang diselenggarakan oleh FMIPA-IPB setiap tahun yang termasuk kegiatan rangkaian Dies Natalis IPB.

Satu makalah utama dari Menteri Pertanian yang diwakili oleh Sekretaris Jendral Departemen Pertanian, dan tiga makalah undangan dengan tiga topik utama, yaitu nanoteknologi untuk pertanian, pemodelan untuk pertanian, dan sumber energi alternatif dipresentasikan dan didiskusikan pada Seminar Nasional Sains ini. Selain itu 25 makalah hasil penelitian dipresentasikan pada tiga kelas paralel, yaitu Biosains, Sensor dan Pemodelan, serta Energi Alternatif dan Nanosains. Makalah-makalah hasil penelitian ini merupakan isi dari prosiding ini. Seminar dihadiri oleh kalangan dosen dan peneliti dari Perguruan Tinggi, peneliti dari Litbang-litbang Departemen Teknis, Mahasiswa Pascasarjana, dan guru-guru SLTA dengan asal institusi yang terbentang dari Nangro Aceh Darussalam sampai Manado dan Makassar.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada FMIPA-IPB yang telah mendukung penuh kegian Seminar Nasional Sains yang pertama ini. Ucapan terima kasih juga untuk seluruh Panitia Seminar dan mahasiswa dari tim dari Pesta Sains 2008, serta semua pihak yang telah mensukseskan acara seminar ini. Kami sangat berterima kasih juga kepada semua pemakalah atas kerjasamanya, sehingga memungkinkan prosiding ini terbit. Akhir kata, kami menunggu kritik dan saran dari sidang pembaca untuk perbaikan ke depan, dan semoga prosiding ini bermanfaat bagi semua pihak.

Bogor, Desember 2008

Panitia Seminar Nasional Sains 2008
FMIPA-IPB Bogor

Panitia Seminar Nasional Sains

Penanggung Jawab	:	Kiagus Dahlan (Wakil Dekan FMIPA IPB)
Ketua Pelaksana	:	Ence Darmo (Koordinator Komisi Penelitian FMIPA IPB)
Sekretaris	:	Suryani
Bendahara	:	Dyah Iswantini
Sie Publikasi & Dokumentasi	:	Irman Hermadi, Kusman Sadik, Indahwati
Sie Dana & Pameran	:	Nur Aidi, Idung Risdianto
Sie Ilmiah & Persidangan	:	Miftahudin, Zaenal Hasan
Sie Perlengkapan & Logistik	:	Jaharuddin, Akhiruddin
Sie Konsumsi	:	Fitri dkk
Pameran Departemen & Workshop	:	Ali Kusnanto, Sobri Effendy

DAFTAR ISI

No.	PENULIS	JUDUL	HALAMAN
		BIOSAINS	
1	Dyah Iswantini, Gustini Syabirin, Wiwi Pratiwi	Daya Inhibisi Ekstrak air dan Etanol Temu Putih (*Curcuma zedoaria*) terhadap Aktivitas Enzim Tirosin Kinase secara *In Vitro*	1
2	Lisiard Dimara, Ferdy S Rondonuwu, Leenawaty Limantara	Uji Fisika-Kimia Stabilitas Pigmen Karetenoid pada Ekstrak Kasar Buah Merah Papua (*Pandanus conoideus* Lam.) Potensi sebagai Pewarna Alami	17
3	Ani Rosiyanti, Leenawaty Limantara	Degradasi Bakteriofeoforbid *a* dalam Pelarut Methanol oleh Asam	33
4	Fahruddin	Penggunaan Bahan Organik Tanah sebagai Sumber Inokulum dalam Mengatasi Lahan Tercemar Lumpur Minyak	44
5	AE Zainal Hasan, IM Artika, Popi, M Lasmiyanti	Alternatif Antikaries Gigi: Propolis	51
6	Arinana, Yudi Rismayadi, Mustika Dewi	Efikasi Fumigan Aluminium Phosphida terhadap Rayap Kayu Kering *Cryptotermes cynocephalus* (Isoptera: Kalotermitidae)	71
7	Elsa Lisanti, Nurmasari S, Maria Ulfa, Herdis	Pengaruh Pengencer Susu Kedelai dengan Penambahan Fruktosa terhadap Motilitas dan Daya Tahan Hidup Spermatozoa pada Semen Cair Domba (*Ovis aries*)	80
8	Priatna Sasmita	Daya Kultur Antera Berbagai Genotipe Padi Sawah *Oryza sativa* L. subsp. *indica*	88
9	Widaningrum, Abubakar	Inovasi teknologi Pengolahan Sayuran: Sayuran Kering dan Sayuran Siap Santap	98
10	Abubakar, Widaningrum	Penentuan *Critical Control Points* (CCP) dan *Control Points* (CP) pada Proses pembuatan Mi Basah dari Tepung Ubi Jalar dengan Campuran Pati Ubi Kayu	111
11	Winarsih, Sri Mulyaningsih	Kadar Unsur Hara Kompos Bahan Baku Sampah Rumah Tangga	128
		ENERGI ALTERNATIF	
12	Hamim, Miftahudin	Tantangan dan Kendala Pengembangan Komoditas Penghasil Bahan Bakar Minyak Nabati (Biofuel): Studi Kasus Nusa Tenggara dan Bali	136
13	Eniya Listiani Dewi, MA Rachman	Pembuatan *Fuel Cell* sebagai Sumber Energi Alternatif Menggunakan BioHidrogen sebagai Bahan Bakar baru	144
14	M Rifki, Irzaman, H Alatas	Optimasi Efisiensi Tungku Sekam dengan Variasi Lubang Utama pada Badan Kompor	151

No.	PENULIS	JUDUL	HALAMAN
15	Heru Wahyudi	Alat Penghemat Listrik untuk Semua Jenis Setrika Menggunakan Sistem Sensor	162
16	Bilalodin	Disain Sistem Sensor Kecepatan Angin Secara *Real Time*	170
17	Suprihatin	Perolehan Kembali Bahan Bernilai Ekonomis dari Limbah Cair Industri Pertanian	176
		NANOSAINS	
18	Akhiruddin Maddu, F Mourad, ST Wahyudi, M Kurniati	Fotoelektroda Nanokristal TiO_2 Termodifikasi ZnO untuk Aplikasi Sel Surya Tersensitisasi Dye dengan Elektrolit Konduktor Hole CuSCN	187
19	Irzaman, J Zamal, N Sabani	Atomic Force Microscopy Nanoscale Study of Aluminum Thin Film on Si (100) Substrate	198
20	Henny Purwaningsih, E Johan, N Matsue, T Henmi	Sintesis dan Uji Aktivitas Adsorpsi Nano-tubular Imogolite Tersubstitusi Cu	202
21	Kiagus Dahlan, AN Laeny, A Maddu, S Giat,	Synthesis of Amorphous Calcium Phosphate made of Eggshell by Low Temperature-Precipitation Method	207
		MODEL DAN SENSOR	
22	Eti Dwi Wiraningsih, Widodo, L Aryati, S Toaha	Model SIS dengan Pertumbuhan Logistik	215
23	Sri Nurdiati	Information Extraction Using Knowledge Graft Method	226
24	Yiyi Sulaeman, R Shofiyati, S Bachri	Integrasi Teknologi GIS dan Web dalam Konservasi dan Diseminasi Informasi Spasial Sumberdaya Lahan Pertanian	236
25	Effendi Tri Bahtiar	Optimalisasi Produksi Glulam Melalui Pemilahan Lamina	256

Daya Inhibisi Ekstrak air dan Etanol Temu Putih (*Curcuma zedoaria*) terhadap Aktivitas Enzim Tirosin Kinase secara *In Vitro*

Dyah Iswantini[1,2], Gustini Syabirin[1] dan Wiwi Pratiwi[1].

[1)] Departemen Kimia FMIPA IPB, Bogor.
[2)] Pusat Studi Biofarmaka LPPM IPB, Bogor

Abstrak

Enzim tirosin kinase merupakan enzim yang berperan penting dalam mengatur perkembangan sel kanker. Suatu zat yang dapat menginhibisi aktivitas enzim tirosin kinase akan mampu menghambat perkembangan sel kanker. Temu putih merupakan tanaman yang memiliki potensi sebagai antikanker. Tujuan penelitian ini untuk menguji potensi ekstrak air demineralisasi (akuadem), ekstrak air panas, dan ekstrak etanol 70% dari rimpang temu putih sebagai antikanker dengan menentukan daya inhibisinya terhadap enzim tirosin kinase secara *in vitro*. Penentuan daya inhibisi tersebut dilakukan dengan menggunakan metode ELISA (*enzyme linked immunosorbent assay*) dengan genistein sebagai kontrol positif. Simplisia rimpang temu putih yang berkadar air 10,42% mempunyai rendemen ekstrak dalam pelarut etanol 70%, air demineralisasi (akuadem), dan air panas diperoleh berturut-turut sebesar 24,51%; 9,65%; dan 12,22%. Ketiga ekstrak yang mengandung alkaloid dan flavonoid tersebut mampu menghambat aktivitas enzim tirosin kinase lebih besar daripada genistein pada konsentrasi ekstrak 700 ppm. Penghambatan terbesar dihasilkan oleh ekstrak etanol dengan daya hambat sebesar 27,77%, diikuti oleh ekstrak akuadem dan ekstrak air panas berturut-turut sebesar 26,13% dan 24,50%. Adanya daya hambat dari ekstrak temu putih tehadap aktivitas tirosin kinase menunjukkan potensi tanaman tersebut untuk digunakan sebagai obat antikanker.

Kata kunci: daya inhibisi, temu putih (*curcuma zeodaria*), enzim tirosin kinase, kanker

1. PENDAHULUAN

Kanker atau tumor merupakan penyakit paling mematikan di dunia setelah jantung koroner. Kanker menyebabkan 6 juta kematian setiap tahunnya atau 12% dari populasi dunia (WHO 2004). Pengobatan kanker secara medis yang biasa dilakukan selama ini adalah radioterapi, kemoterapi, immunoterapi, gen terapi, dan pembedahan. Meskipun saat ini pengobatan tersebut merupakan pengobatan utama dalam kanker tetapi masih banyak masyarakat yang tidak mau melaksanakannya karena alasan-alasan tertentu seperti alasan psikologis, ekonomi, dan adanya efek samping. Efek samping yang biasa timbul antara lain pusing, diare, gangguan pencernaan (Simadibrata 2004), pengurangan sel darah putih, anemia (Hukom 2004), terjadinya malnutrisi, kulit kering dan berubah warna (Hariani 2004),

pendarahan, infeksi, dan kebotakan. Hal ini menyebabkan banyak penderita kanker cenderung mencari alternatif pengobatan lain.

Penemuan tanaman-tanaman obat yang menunjukkan efek farmakologis terhadap penyakit kanker terutama yang telah mengalami uji secara ilmiah telah memberikan alternatif dalam mengatasi dan mengobati penyakit kanker. Penggunaan tanaman obat untuk kanker selain diketahui ampuh, juga tidak menimbulkan efek samping serta murah.

Salah satu dari tanaman obat di Indonesia yang berpotensi sebagai obat kanker adalah temu putih (*Curcuma zedoaria*) disamping tanaman obat lain seperti sambiloto (*Andrographis paniculata* Ness), keladi tikus (*Typonium flagelliforme*), dan mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa* Scheff). Chan Minyi (2001), menyebutkan bahwa tanaman temu putih mempunyai efektivitas tinggi untuk mengatasi kanker dan tumor. *American Institut Cancer Report* (New York Time) melaporkan bahwa temu putih mengandung protein penginaktif ribosom (RIP) yang mampu membasmi sel kanker, sebagai senyawa antioksidan dan antiradang. Senyawa monoterpen yang terkandung dalam minyak atsiri temu putih berkhasiat sebagai antineoplastik (antikanker) dan telah terbukti dapat menonaktifkan pertumbuhan sel kanker payudara. Iswantini *et al.* (2003) melaporkan bahwa temu putih yang mengandung terpenoid, alkaloid, dan flavonoid berpotensi tinggi sebagai antikanker. Ekstrak kasar flavonoid temu putih pada berbagai konsentrasi di bawah nilai LC_{50}-nya mempunyai daya hambat terhadap aktivitas tirosin kinase melebihi inhibitor sintetis genistein. Daya hambat tertinggi diperoleh dari fraksi teraktif ekstrak kasar flavonoid temu putih, yaitu sebesar 93,4%.

Tirosin kinase memainkan peranan penting dalam pengaturan pertumbuhan sel dan diferensiasi. Aktivitas tirosin kinase sebagai reseptor faktor pertumbuhan dan produk protein onkogen sangat penting bagi perbanyakan sel. Inhibitor spesifik yang ditargetkan terhadap domain aktivitas tirosin kinase mungkin merupakan obat antiperkembangbiakan yang potensial. Salah satu inhibitor tirosin kinase yang telah diketahui adalah isoflavon alami genistein dan deidzein (Challem *et al.* 2002).

Setiawan (2004) menyimpulkan bahwa ekstrak flavonoid dari rimpang temu putih berpotensi menghambat aktivitas enzim tirosin kinase. Berdasarkan penelitian tersebut, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, salah satunya adalah menentukan daya inhibisi ekstrak air dan ekstrak etanol dari rimpang temu putih terhadap tirosin kinase.

Penelitian ini bertujuan menguji dan membandingkan khasiat dari ekstrak akuadem, ekstrak air panas, dan ekstrak etanol 70% dari rimpang temu putih sebagai antikanker berdasarkan daya inhibisinya terhadap aktivitas tirosin kinase. Hipotesis yang diajukan ialah

terdapat perbedaan daya inhibisi dari ketiga ekstrak yang diuji terhadap aktivitas tirosin kinase.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri atas tiga bagian, yaitu (1) analisis bahan, ekstraksi, penentuan rendemen, dan uji fitokimia ekstrak; (2) uji toksisitas LC_{50} ekstrak; (3) penentuan daya inhibisi ekstrak terhadap aktivitas tirosin kinase. Bagan alir penelitian terdapat pada Lampiran 3.

2.1. Pengeringan dan Penentuan Kadar Air

Proses pengeringan dilakukan untuk memperoleh sampel rimpang temu putih kering yang selanjutnya akan digunakan untuk proses ekstraksi. Rimpang temu putih yang sudah dicuci, diiris tipis, dan dikeringkan dalam oven suhu 40 °C sampai diperoleh kadar air $\pm$ 10%, kemudian digiling sampai menjadi serbuk berukuran 40 mesh.

Penentuan kadar air sampel sebelum diekstraksi, dilakukan untuk mengetahui kandungan air dalam sampel yang berhubungan dengan tingkat kestabilannya terhadap aktivitas mikrob. Cawan porselin dikeringkan pada suhu 105 °C selama 30 menit kemudian didinginkan dalam eksikator dan ditimbang. Serbuk rimpang temu putih kering sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam cawan porselin dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 3 jam kemudian didinginkan dalam eksikator dan ditimbang. Serbuk temu putih kering dalam cawan dikeringkan lagi selama 3 jam pada suhu 105 °C, didinginkan dan ditimbang kembali. Prosedur dilakukan berulang-ulang sampai diperoleh bobot yang tetap.

2.2. Ekstraksi dengan Pelarut Etanol 70%

Sebanyak 150,01 g serbuk rimpang temu putih kering dicuci dengan 600 mL pelarut *n*-heksana selama 3 jam. Sampel kemudian diekstraksi dengan 600 mL etanol 70% selama 2 hari lalu disaring. Ekstraksi dilakukan 3 kali. Filtrat yang diperoleh dipekatkan dengan labu penguap putar pada suhu di bawah 50 °C sampai diperoleh residu kering. Hasil ekstrak ini selanjutnya digunakan untuk penentuan nilai LC_{50} dan diuji daya inhibisinya terhadap aktivitas tirosin kinase.

2.3. Ekstraksi dengan Pelarut Air Demineralisasi (Akuadem)

Sebanyak 150,02 g serbuk rimpang temu putih kering dicuci dengan 600 mL pelarut *n*-heksana selama 3 jam. Kemudian sampel diekstrak secara maserasi dengan 600 mL akuadem selama 2 hari. Ekstraksi dilakukan 3 kali. Filtrat yang dihasilkan dikeringkan

menggunakan metode pengering beku (*freeze-dried*). Ekstrak kering yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk penentuan nilai LC_{50} dan pengujian daya inhibisi terhadap aktivitas tirosin kinase.

2.4. Ekstraksi dengan Pelarut Air Panas (Air Seduhan)

Sebanyak 150,10 g serbuk rimpang temu putih diseduh dengan 900 mL air mendidih kemudian diaduk terus sampai menjadi dingin lalu disaring. Penyeduhan dilakukan 2 kali. Filtrat yang diperoleh dikeringkan menggunakan metode pengering beku (*freeze-dried*). Ekstrak kering yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk penentuan nilai LC_{50} dan pengujian daya inhibisi terhadap aktivitas tirosin kinase.

2.5. Uji Fitokimia (Metode Harborne 1996).

Uji fitokimia yang akan dilakukan meliputi uji flavonoid, uji alkaloid, uji terpenoid dan steroid, uji saponin, uji kuinon serta uji tanin.

Uji Alkaloid. Sebanyak 1 gram ekstrak dilarutkan dengan kloroform dan beberapa tetes NH_4OH kemudian disaring dalam tabung reaksi tertutup. Ekstrak kloroform dalam tabung reaksi dikocok dengan 10 tetes H_2SO_4 2 M lalu lapisan asamnya dipisahkan dalam tabung reaksi yang lain. Lapisan asam ini diteteskan pada lempeng tetes dan ditambahkan pereaksi Dragendorf, Mayer dan Wagner yang akan menimbulkan endapan dengan warna berturut-turut merah jingga, putih, dan cokelat.

Uji Flavonoid. Sebanyak 5 mL filtrat ditambahkan serbuk magnesium (0,5 gram), 1 mL alkohol klorhidrat (campuran HCl 37% dan etanol 95% dengan volume sama), dan amil alkohol, kemudian dikocok kuat-kuat. Terbentuknya warna merah, kuning, dan jingga pada lapisan amil alkohol menunjukkan adanya golongan flavonoid. Sebanyak 1 mL ekstrak ditambah dengan 1 mL metanol 95%, 0.5 g Zn, dan 2 tetes HCl 2N, didiamkan selama 2 menit lalu ditambah 1 mL HCl pekat. Uji akan positif untuk glikosida flavonoid bila dalam 2-5 menit terbentuk warna merah intensif.

Uji Terpenoid dan Steroid. Sebanyak 2 gram ekstrak tanaman dilarutkan dengan 25 mL etanol panas (50 °C) kemudian disaring kedalam pinggan porselin dan diuapkan sampai kering. Residu ditambahkan eter dan ekstrak eter dipindahkan ke dalam lempeng tetes lalu ditambahkan 3 tetes anhidrida asetat dan 1 tetes H_2SO_4 pekat (Uji Lieberman-Buchard). Warna merah atau ungu menunjukkan kandungan terpenoid sedangkan warna hijau atau biru menunjukkan kandungan steroid.

Uji Saponin. Sebanyak 1 gram ekstrak tanaman dimasukkan ke dalam gelas piala dan ditambahkan 100 mL air panas dan dididihkan selama 5 menit kemudian disaring dan filtrat digunakan untuk pengujian. Uji saponin dilakukan dengan pengocokan 10 mL filtrat ke dalam tabung tertutup selama 10 menit. Timbulnya busa hingga selang waktu 10 menit (buih stabil) menunjukkan adanya saponin.

Uji Kuinon. Sebanyak 1 gram ekstrak tanaman ditambah 100 mL air panas, dididihkan selama 5 menit dan disaring. Ke dalam 10 mL filtrat ditambahkan beberapa tetes NH_4OH 1N. Warna merah yang terbentuk menunjukkan adanya kuinon.

Uji Tanin. Sebanyak 1 gram ekstrak tanaman ditambahkan 100 mL air panas, dididihkan selama 5 menit dan disaring. Sebagian filtrat ditambahkan $FeCl_3$. Terbentuknya warna biru tua atau hitam kehijauan menunjukkan terdapatnya tanin.

2.6. Uji Toksisitas Larva Udang (LC_{50})

Telur udang ditetaskan dalam gelas piala berisi 200 mL air laut dan dilengkapi dengan aerator. Setelah dua hari, telur udang akan menetas menjadi *naupili* atau larva udang. Ekstrak kasar ditimbang dan dilarutkan dalam air laut sehingga didapatkan konsentrasi 10, 100, 500, dan 1000 ppm (Meyer *et al.* 1982). Sebanyak 10 ekor larva udang ditempatkan pada masing-masing sumur yang telah diberi ekstrak. Jumlah larva udang yang mati dihitung setelah 24 jam. Data yang didapat dianalisis menggunakan program ‘Analisis Probit’ dengan derajat kepercayaan 95 % untuk mendapatkan nilai LC_{50}. Sebagai kontrol digunakan air laut tanpa penambahan ekstrak (Meyer *et al.* 1982).

2.7. Pelapisan pada Lempeng Mikro

Pelapisan dilakukan dengan cara berikut. Plastik penutup dilepaskan dari tempatnya, kemudian jumlah sumur yang diperlukan ditempatkan dalam lempeng penyangga. Sampel larutan stok substrat PTK (PGT, Polimer sintetik acak poli-Glu-Tyr) dicairkan, dan sebanyak 125 μL substrat tersebut ditambahkan ke dalam masing-masing sumur, lalu lempeng mikro ditutup. Kemudian lempeng diinkubasi sepanjang malam pada suhu 37 °C. Setelah itu, larutan PTK substrat yang tidak terlapis dibuang dan masing-masing sumur dicuci dengan 200 μL buffer pencuci (PBS-Tween 20), kemudian buffer pencuci dibuang dan sumur dikeringkan selama 2 jam dengan suhu 37 °C.

2.8. Pengujian Protein Tirosin Kinase

Pelarut buffer tirosin kinase (BTK) dengan konsentrasi 1x dibuat dengan cara, sebanyak 1 mL BTK konsentrasi 10x dilarutkan dengan 9 mL air deionisasi. Sebanyak 32,5 μL *epidermal growth factor receptor* (EGFR) (130 U) dicairkan, kemudian ditambah 292.5 μL BTK (1x) (setiap 10 μL mengandung 4 U), campuran diaduk dan disimpan dalam es. Larutan stok ATP sebanyak 128 μL dilarutkan dengan 3,2 mL BTK (1x), dicampurkan dan disimpan dalam es. Vial 600 μL disiapkan sebanyak 3 vial untuk masing-masing ekstrak, 1 vial untuk kontrol EGFR dan 1 vial untuk genistein. Sebanyak 20 μL EGFR dimasukkan ke dalam tiap vial, kemudian ditambahkan 20 μL ekstrak 300 ppm untuk vial khusus sampel, 20 μL genistein 300 ppm untuk vial kontrol positif dan 20 μL air bebas ion sebagai kontrol EGFR (kontrol negatif), masing-masing vial diinkubasi di dalam es selama 10 menit. Sebanyak 90 μL BTK (1x) yang mengandung ATP dimasukkan ke dalam masing-masing sumur. Ke dalam tiap sumur ditambahkan masing-masing 20 μL larutan sampel yang berisi EGFR, dilakukan duplo. Tiap sumur sampel berisi 10 μL sampel 300 ppm dan 10 μL EGFR 4 U dengan konsentrasi ATP 0,3 mM. Kemudian sumur-sumur ditutup dan diinkubasi pada suhu kamar selama 30 menit. Campuran dikeluarkan dari masing-masing sumur, dan sumur dicuci dengan 200 μL buffer pencuci dengan lima kali pengulangan. Setelah itu, sebanyak 100 μL larutan antibodi konjugat *horseradish peroxidase* (HRP), dengan pelarutan yang tepat dimasukkan ke dalam sumur. Sumur ditutup dan diinkubasi selama 30 menit pada temperatur ruangan. Sisa larutan konjugat dari tiap sumur dibuang dan sumur dicuci dengan 200 μL buffer pencuci, pencucian dilakukan lima kali. Larutan substrat peroksidase segar dibuat dengan cara pelarutan satu tablet *0-Phenylenediamine* (OPD) dan satu tablet urea hidrogen peroksida dalam 20 mL air deionisasi, dicampurkan sampai larut dan dihindarkan dari cahaya sampai digunakan, larutan ini tidak untuk disimpan. Kemudian, sebanyak 100 μL larutan substrat OPD segar ditambahkan pada masing-masing sumur dan diinkubasi selama tujuh menit dalam keadaan gelap dan suhu ruangan. Warna orange-kuning akan muncul dalam sumur yang positif (Lampiran 4). Reaksi dihentikan dengan penambahan 100 μL H_2SO_4 2,5 N pada masing-masing sumur. Sumur diukur serapannya pada 490 nm. Pengukuran harus dalam waktu 30 menit dalam mikropelat ELISA yang ditetapkan pada hari penambahan larutan penghenti. Persentasi daya inhibisi ekstrak terhadap tirosin kinase diperoleh dengan perhitungan: $\left[1 - \frac{Absorbans \quad ekstrak}{Absorbans \quad EGFR}\right] \times 100\%$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kadar Air

Penentuan kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang terdapat dalam sampel tanaman (Lampiran 5). Dengan mengetahui kadar air suatu sampel, dapat juga diperkirakan cara penanganan terbaik bagi sampel untuk menghindari pengaruh aktivitas mikrob. Kadar air rimpang temu putih segar diperoleh sebesar 82,81% (Tabel 1). Hal ini berarti air yang terkandung dalam rimpang temu putih segar masih sangat besar. Sementara itu, kadar air rimpang temu putih hasil pengeringan dengan oven bersuhu 40 °C selama 4 hari diperoleh sebesar 10,42% (Tabel 1). Proses pengeringan menyebabkan kandungan air pada sampel berkurang cukup besar. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya perubahan kimia yang tidak diinginkan pada sampel.

Tabel 1. Data kadar air rimpang temu putih

Rimpang Temu putih	Kadar air (%)
Sampel segar	82,81
Sampel kering	10,42

Kandungan air dalam suatu bahan mempengaruhi daya tahan bahan terhadap serangan mikrob. Semakin besar kandungan air dalam suatu bahan, maka semakin rendah daya tahannya terhadap serangan mikrob. Bagian tanaman yang sudah benar-benar kering masih dapat dianalisis walaupun telah disimpan dalam jangka waktu lama.

3.2. Ekstraksi

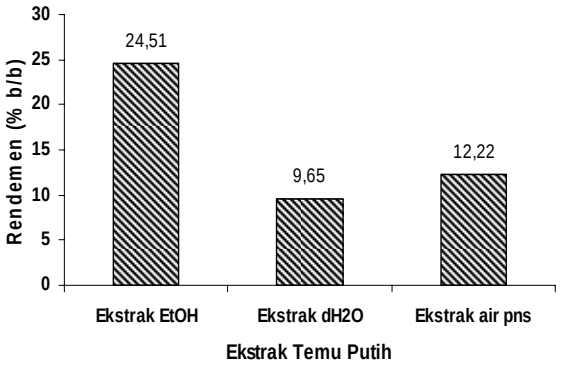
Pada awal proses maserasi, seluruh serbuk rimpang temu putih yang akan digunakan, diekstraksi terlebih dahulu menggunakan *n*-heksana. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan komponen lemak yang mungkin akan mengganggu proses penanganan ekstrak selanjutnya. Ampas yang tersisa lalu diekstraksi masing-masing menggunakan pelarut etanol 70% dan akuadem. Ekstrak etanol 70% dipekatkan menggunakan labu penguap putar pada suhu 40 °C untuk mencegah kemungkinan terjadinya kerusakan komponen yang terkandung dalam ekstrak.

Penggunaan beberapa pelarut yang berbeda dimaksudkan untuk melihat pengaruh perbedaan kepolaran pelarut terhadap kandungan senyawa kimia dalam ekstrak. Etanol memiliki gugus hidroksil yang bersifat polar dan rantai alkil yang bersifat nonpolar. Adanya kedua gugus tersebut menyebabkan senyawa-senyawa dengan tingkat kepolaran berbeda diharapkan terekstrak ke dalam etanol. Sementara itu, penggunaan pelarut akuadem, selain

karena air lebih bersifat polar dibandingkan dengan etanol sehingga dapat menarik senyawa yang memiliki tingkat kepolaran lebih tinggi, penggunaan pelarut akuadem juga dimaksudkan untuk melihat pengaruh keberadaan mineral dalam air.

Penyeduhan serbuk rimpang temu putih kering dengan air mendidih didasari oleh pemakaian tradisional rimpang sebagai obat, yaitu dengan cara diseduh. Ekstrak yang diperoleh kemudian dikeringkan dengan pengering beku untuk menghindari kerusakan komponen dalam ekstrak. Pada proses *freeze drying,* bahan dibekukan terlebih dahulu dan es yang terjebak di dalamnya dibuang dengan pompa vakum (es menyublim). Dengan demikian air dapat disingkirkan tanpa merusak bahan yang dikeringkan (Daintith 1990) dan dapat mencegah kemungkinan hilangnya senyawaan tertentu yang tidak tahan terhadap kalor, sebab pada cara ini tidak ada penggunaan kalor dalam proses pengeringannya.

Ekstrak etanol 70% (EtOH) yang dihasilkan berbentuk *oily* berwarna cokelat dengan rendemen sebesar 24,51%. Rendemen dari ekstrak akuadem (dH_2O) diperoleh sebesar 9,65% dan rendemen ekstrak air panas sebesar 12,22% (Gambar 1).



Gambar 1. Nilai rendemen (%) tiap ekstrak temu putih

3.3. Kandungan Fitokimia

Semua ekstrak yang diperoleh termasuk pula rimpang segar dan kering temu putih selanjutnya diuji fitokimia. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui perbedaan kandungan senyawa dalam masing-masing ekstrak akibat adanya pengaruh perbedaan pelarut dan suhu pada pengeringan sampel. Senyawa metabolit sekunder yang diperiksa adalah alkaloid, flavonoid, terpenoid dan steroid, saponin, tanin, serta kuinon. Hasil penapisan fitokimia terhadap masing-masing rimpang dan ekstrak temu putih ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil penapisan fitokimia

Golongan Senyawa	Sampel				
	SS	SK	EE	EAdm	EAp
Alkaloid	+++	+++	+++	+++	+++
Flavonoid aglikon	+++	+++	+++	+++	+++
Flavonoid glikosida	-	-	-	-	-
Terpenoid	+++	+++	+	-	-
Steroid	-	-	-	-	-
Saponin	++	++	-	-	-
Tanin	-	-	-	-	-
Kuinon	-	-	-	-	-

Keterangan:

SS : Sampel segar (+) : Hasil uji positif
SK : Sampel kering (-) : Hasil uji negatif
EE : Ekstrak etanol 70%
EAdm: Ekstrak akuadem
Eap : Ekstrak air panas

Tabel 2 menunjukkan bahwa rimpang temu putih segar dan kering mengandung senyawa metabolit sekunder, antara lain alkaloid, flavonoid dalam bentuk aglikon, terpenoid, dan saponin. Proses pengeringan rimpang pada suhu 40°C tampaknya tidak merusak kandungan senyawa metabolit sekundernya. Akan tetapi, ekstraksi dengan *n*-heksana dapat menghilangkan sebagian besar kandungan terpenoid dalam ampas sehingga uji terpenoid negatif pada ekstrak akuadem dan ekstrak air panas, dan pada ekstrak etanol 70% kandungannya berkurang.

Sebaliknya dalam Tabel 2 diperlihatkan bahwa flavonoid dan alkaloid praktis terekstrak seluruhnya dalam ketiga pelarut yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa flavonoid dan alkaloid yang terdapat dalam rimpang memiliki tingkat kepolaran yang berbeda, sehingga dapat terekstrak dalam masing-masing pelarut yang digunakan. Flavonoid yang terkandung dalam rimpang temu putih segar, rimpang kering, dan semua ekstrak adalah jenis flavonoid aglikon, yaitu flavonoid bebas yang tidak berikatan dengan glikosida. Adanya kandungan alkaloid ditandai dengan terbentuknya larutan berwarna merah jingga dengan pereaksi Dragendorf, warna cokelat dengan pereaksi Wagner dan endapan putih dengan pereaksi Mayer. Adanya kandungan flavonoid ditandai dengan terbentuknya warna kuning jingga pada lapisan amil alkohol pada ekstrak.

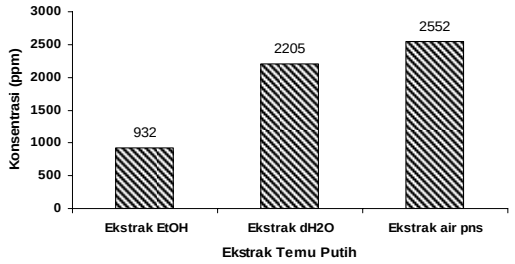
Berdasarkan hasil penapisan fitokimia pada Tabel 2 menunjukkan bahwa uji saponin terhadap ketiga ekstrak negatif. Hal ini menunjukkan bahwa saponin yang terdapat dalam

rimpang temu putih cenderung bersifat non polar, sehingga tidak dapat terekstrak oleh beberapa pelarut yang bersifat semi polar dan polar yang telah digunakan.

3.4. Uji Toksisitas Larva Udang

Larva udang yang digunakan berumur 48 jam. Pada kondisi ini larva udang berada pada kondisi yang paling peka terhadap kondisi lingkungan. Hal ini disebabkan dinding sel larva masih lunak, sehingga senyawa asing dalam air laut yang diserap melalui dinding selnya akan segera mempengaruhi hidup larva tersebut. Senyawa asing yang bersifat toksik itu akan mengakibatkan kematian pada larva udang tersebut.

Jumlah larva udang yang mati akibat penambahan ekstrak kasar kemudian dianalisis dengan menggunakan analisis Probit. Berdasarkan hasil pengujian, diduga bahwa ekstrak etanol 70% mengandung senyawa bioaktif yang bersifat toksik karena nilai LC_{50}-nya kurang dari 1000 ppm yaitu sebesar 932 ppm. Dugaan tersebut didasarkan pada pernyataan Meyer *et al.* 1982, yang menyatakan bahwa senyawa yang mempunyai nilai LC_{50} lebih kecil dari 1000 ppm dikatakan memiliki potensi bioaktivitas. Senyawa bioaktif adalah senyawa kimia yang dapat memberikan efek atas jaringan biologi, yang selanjutnya diharapkan dapat bermanfaat sebagai obat yang mampu menghambat perkembangan mikroorganisme penyebab penyakit bahkan mampu membunuh mikroorganisme tersebut. Hal ini dapat berarti bahwa ekstrak etanol 70% memiliki aktivitas yang dapat mempengaruhi fungsi fisiologis dari organ, jaringan, atau sel jika digunakan serta sangat berpotensi sebagai obat. Sementara itu, ekstrak akuadem menghasilkan nilai toksisitas LC_{50} sebesar 2,205 ppm dan ekstrak air panas sebesar 2,552 ppm (Gambar 2). Nilai LC_{50} untuk ekstrak akuadem dan ekstrak air panas lebih dari 1000 ppm menunjukkan bahwa kedua ekstrak tersebut kurang bersifat toksik atau baru bersifat toksik pada konsentrasi tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai indikasi keamanan untuk dikonsumsi oleh tubuh kita. Berdasarkan hal tersebut, diharapkan bahwa konsumsi kedua ekstrak temu putih ini sencara kontinyu tidak akan memberi efek toksik terhadap tubuh.



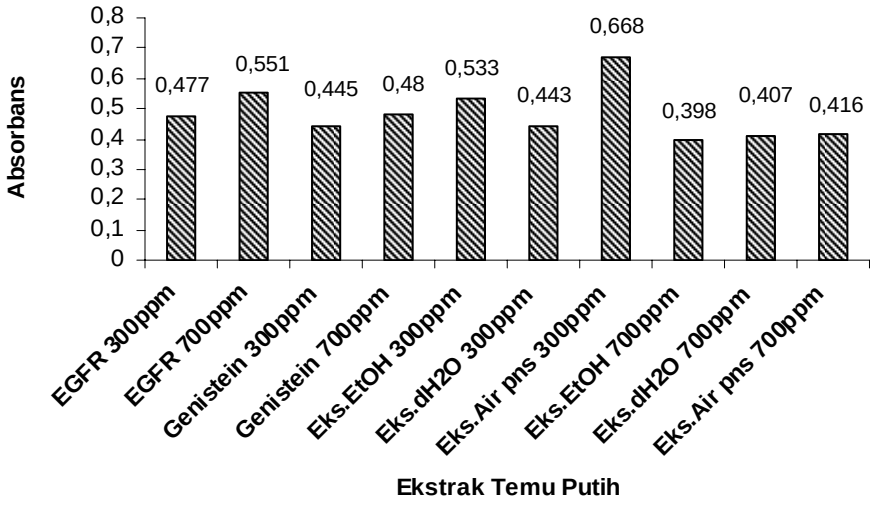
Gambar 2. Nilai LC_{50} tiap ekstrak temu putih terhadap larva *A. Salina*

Berdasarkan sejumlah pengalaman eksperimental, terbukti bahwa sebagian besar tanaman yang memiliki nilai toksisitas yang tinggi memiliki potensi sebagai antikanker, karena toksisitas yang dimilikinya tersebut dapat pula bekerja pada fase tertentu dari siklus sel tumor. Alam (2002) menyebutkan bahwa beberapa senyawa bioaktif yang telah berhasil diisolasi dan dimonitor aktivitasnya dengan uji toksisitas larva udang BSLT (*brine shrimp lethality test*) menunjukkan adanya korelasi terhadap suatu uji spesifik antikanker. Pengujian tingkat toksisitas dari ekstrak yang diperoleh dilakukan untuk menentukan konsentrasi yang akan digunakan pada uji enzimatis terhadap aktivitas tirosin kinase.

Menurut Meyer *et al.* (1982), suatu ekstrak atau fraksi dari suatu tanaman dianggap memiliki efek positif terhadap uji kematian larva udang jika LC_{50}-nya kurang dari 1000 ppm, hanya spektrum keaktifannya masih sangat luas. Uji toksisitas larva udang tidak spesifik untuk antitumor, tetapi kemampuannya untuk mendeteksi 14 dari 24 ekstrak *Euphorbiaceae* yang aktif terhadap uji 9PS dan mendeteksi 2 dari 6 spesies yang aktif terhadap uji 9KB memungkinkan uji toksisitas larva udang dapat digunakan sebagai uji praskrining senyawa bioaktif.

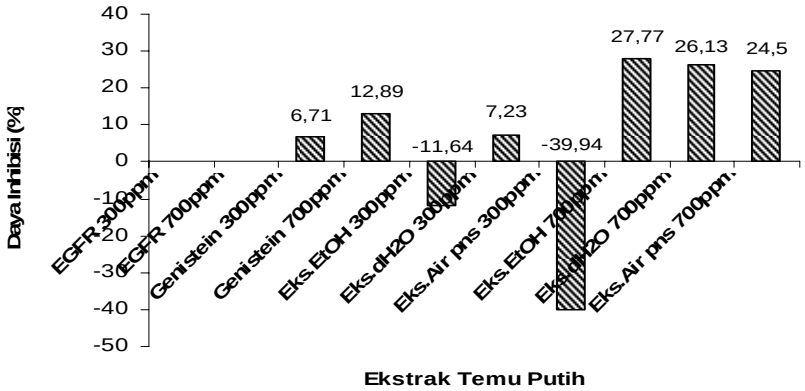
3.5. Uji Inhibisi terhadap Aktivitas Tirosin Kinase

Uji daya inhibisi secara *in vitro* dari ekstrak kasar tanaman yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan uji ELISA (e*nzyme linked immunosorbent assay*). Konsentrasi yang digunakan pada pengujian terhadap aktivitas tirosin kinase secara *in vitro* ini adalah konsentrasi yang berada di bawah nilai LC_{50} dari tiap ekstrak. Hal ini dilakukan untuk mengetahui daya hambat aktivitas enzim pada keadaan yang praktis tidak toksik, sehingga dapat diketahui tingkat kekuatan dari ekstrak yang digunakan pada kondisi yang paling aman bagi tubuh. Konsentrasi yang digunakan dalam pengujian sebesar 300 ppm dan 700 ppm untuk masing-masing ekstrak. Pengujian dilakukan dengan kontrol negatif (tanpa penambahan ekstrak) dan kontrol positif (mengandung genistein pada konsentrasi 300 ppm dan 700 ppm). Hasil yang diperoleh berupa nilai absorbans dari aktivitas enzim tirosin kinase (Gambar 3). Nilai absorbans yang dihasilkan berbanding terbalik dengan daya inhibisinya. Semakin kecil nilai absorbans yang dihasilkan menunjukkan daya inhibisi yang semakin besar terhadap aktivitas tirosin kinase karena produk yang dihasilkan oleh enzim tersebut semakin sedikit akibat aktivitasnya yang terhambat. Hal ini dilihat dari intensitas warna produk yang semakin pudar.



Gambar 3. Nilai absorbans tiap ekstrak temu putih pada uji terhadap enzim PTK

Hasil uji menunjukkan bahwa ekstrak kasar etanol 70% dan air panas temu putih pada konsentrasi 300 ppm tidak memiliki daya hambat terhadap aktivitas enzim tirosin kinase, dilihat dari daya inhibisi yang bernilai negatif atau di bawah kontrol negatif (EGFR). Hal ini mungkin terjadi karena senyawa aktif yang terdapat dalam ekstrak yang diduga sebagai inhibitor, ternyata dengan konsentrasi 300 ppm tidak dapat berkompetisi dengan substrat seperti pada genistein (inhibitor kompetitif) sehingga tidak dapat menginhibisi aktivitas tirosin kinase, bahkan malah bersifat sebagai aktivator. Sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi yaitu 700 ppm, semua ekstrak menunjukkan sifat inhibitor terhadap aktivitas tirosin kinase. Hal ini berarti bahwa aktivitas enzim tirosin kinase sangat dipengaruhi oleh konsentrasi ekstrak. Sementara itu, ekstrak kasar akuadem pada konsentrasi 300 ppm memiliki daya inhibisi sebesar 7,23%. Nilai tersebut lebih besar daripada nilai daya inhibisi kontrol positif genistein pada konsentrasi 300 ppm yaitu sebesar 6,71% (Gambar 4).



Gambar 4. Persen daya inhibisi tiap ekstrak temu putih terhadap aktivitas tirosin kinase

Nilai daya inhibisi untuk ekstrak kasar temu putih etanol 70%, akuadem, dan air panas pada konsentrasi 700 ppm berturut-turut adalah sebesar 27,77%, 26,13%, dan 24,50% (Gambar 4). Daya inhibisi terhadap aktivitas tirosin kinase untuk ketiga ekstrak tersebut, melebihi nilai daya inhibisi pada kontrol positif genistein konsentrasi 700 ppm yaitu sebesar 12,89% dan daya inhibisi ketiga ekstrak pada konsentrasi 300 ppm. Berdasarkan nilai-nilai diatas, maka dapat dinyatakan bahwa ekstrak kasar temu putih etanol 70% pada konsentrasi 700 ppm dan ekstrak kasar temu putih akuadem memiliki daya hambat yang baik terhadap aktivitas tirosin kinase. Pernyataan tersebut sesuai dengan nilai toksisitas ekstrak kasar etanol 70% terhadap larva udang yang lebih besar dibandingkan dengan nilai toksisitas kedua ekstrak lainnya (LC_{50} ekstrak etanol 70% kurang dari 1000 ppm). Hal tersebut juga sesuai dengan indikasi awal bahwa ekstrak kasar temu putih etanol 70% lebih berpotensi sebagai obat. Berdasarkan nilai daya inhibisi ketiga ekstrak yang tidak berbeda jauh, dapat dinyatakan bahwa ekstrak kasar temu putih akuadem dan air panas juga berpotensi sebagai antikanker.

Keberadaan dari beberapa senyawa metabolit sekunder pada ekstrak kasar yang diujikan, diduga memiliki peran tersendiri dalam menginhibisi aktivitas tirosin kinase. Alkaloid yang berasal dari tanaman obat diketahui memiliki efek toksisitas terhadap sel kanker (Alexandrova *et al.* 2000), dapat menginduksi apoptosis pada sel kanker manusia serta terbukti efektif dan ampuh dalam mengobati pasien kanker payudara metastatik. Flavonoid sendiri memiliki kemampuan dalam menghambat aktivitas tirosin kinase sebesar 93,34% untuk fraksi teraktif dari ekstrak kasar flavonoid (Setiawan 2004). Pada penghambatan kanker yang disebabkan benzo(a)pirena, diduga golongan flavonoid berperan dalam menghalangi terjadinya ikatan antara benzo(a)pirena dengan DNA (Le Bon dalam Esvandiari 2002). Oleh karena itu, alkaloid dan flavonoid yang terkandung dalam ekstrak kasar tanaman diduga memiliki peran tertentu dalam menghambat aktivitas tirosin kinase.

Keberadaan senyawa terpenoid dalam ekstrak kasar etanol 70% diduga memberi peran dalam mempertinggi daya inhibisi ekstrak tersebut terhadap aktivitas enzim tirosin kinase. Senyawa metabolit sekunder terpenoid dalam ekstrak etanol telah dibuktikan dapat menghambat pertumbuhan sel-sel OVCAR-3 (sel line kanker ovarium manusia) (Syu *et al*. 1998). Semua ekstrak yang diujikan menunjukkan sifat inhibitor yang cukup baik terhadap aktivitas tirosin kinase pada konsentrasi 700 ppm. Bahkan memiliki daya hambat yang lebih besar daripada kontrol positif genistein. Hal ini sangat berguna sebagai bukti ilmiah pada kajian potensi dari beberapa tanaman yang berpotensi sebagai antikanker.

4. SIMPULAN

Rendemen yang diperoleh dari hasil ekstraksi dengan pelarut etanol 70%, akuadem, dan air seduhan serbuk rimpang temu putih masing-masing sebesar 24,51%, 9,65%, dan 12,22%. Nilai LC_{50} ketiga ekstrak tersebut masing-masing sebesar 932 ppm, 2.205 ppm, dan 2.552 ppm.

Rimpang temu putih berpotensi menghambat aktivitas tirosin kinase pada konsentrasi tertentu. Ekstrak kasar temu putih etanol 70% dan air panas pada konsentrasi 300 ppm tidak mempunyai daya hambat terhadap aktivitas tirosin kinase, bahkan menjadi aktivator aktivitas enzim, sedangkan ekstrak kasar akuadem 300 ppm mempunyai daya inhibisi sebesar 7,23%. Pada konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi yaitu 700 ppm, ekstrak etanol 70% mempunyai daya hambat tertinggi yaitu sebesar 27,77%. Daya inhibisi ekstrak akuadem 700 ppm sebesar 26,13% dan ekstrak air panas 700 ppm sebesar 24,50%. Genistein sebagai kontrol positif memiliki daya hambat terhadap aktivitas enzim tirosin kinase sebesar 6,71% pada konsentrasi 300 ppm dan 12,89% pada konsentrasi 700 ppm. Penghambatan aktivitas tirosin kinase sangat dipengaruhi oleh konsentrasi.

DAFTAR PUSTAKA

Alam G. 2002. *Brine Shrimp Lethality Test* (BSLT) sebagai Bioassay dalam Isolasi Senyawa Bioaktif dari Bahan Alam. *Majalah Farmasi Farmakologi* 6: 432-435.

Alexandrova R, Varadinova T, Velcheva M, Genova P. 2000. Cytotoxic effect of Isoquinoline Alkaloid on Tumor Cell Lines. Experimental Pathology Parasitology 4: 8-14.

Challem J, Toews VD, Knittel L. 2002. The Soy Sensation. New York: McGraw Hill.

Chyau CC, Mau JL, Chen CC, Chang CH. 2002. Composition and antioxidant activity of the essential oil from Curcuma zeodaria. http://ift.Confex. com/ift/2002/techprogram/paper_10795htm [26 Juni 2005].

Daintith J. 1990. Kamus Lengkap Kimia. Achmadi SS, penerjemah; Marias, Sitohang DP, editor. Jakarta: Erlangga. Terjemahan dari: Concise Science Dictionary.

Dixon RA, Ferreira D. 2002. Molecules of Interest Genistein. Phytochemistry 60: 205-211.

Esvandiari. 2002. Pengaruh Ekstrak Temu Putih (Curcuma zedoaria) dan Kunir Putih (Curcuma mangga) pada Pertumbuhan Saccharomyces cerevisiae [Skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Iswantini D, Purwantiningsih, Saprudin D. 2003. Kajian potensi senyawa flavonoid dari temu putih sebagai antikanker secara enzimatis. [laporan penelitian]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Flack M, Rumawas F. 1996. Plant Resources of South East Asia: Plants Yielding Non-seed Carbohydrates. Volume ke-9. Bogor: Prosea.

Hamburger M, Hostettmann K. 1991. Bioactivity in Plant: The Link between Phytochemistry and Medicine. Phytochemistry 12: 3864-3847.

Harborne JB. 1996. Metode Fitokimia: Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan. Padmawinata K, Soediro I, penerjemah. Bandung: Institut Teknologi Bandung. Terjemahan dari: Phytochemical Method.

Hariani R. 2004. Nutrisi pada penderita kanker. http://www.dharmais.co.id./new/content.php?page=article&lang=id&id=4yu [1 April 2005].

Herba. 2003. Panduan Pengembangan Tanaman Obat. http://www.karyasari. com/ [1 April 2005].

Heyne K. 1987. Tanaman Berguna Indonesia. Badan Litbang Kehutanan Jakarta, penerjemah. Jilid I. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.

Hukom RA. 2004. Transfusi komponen darah pada penderita kanker. http://www.dharmais.co.id./new/content.php?page=article&lang=id&id=8 [1 April 2005].

Hunter T. 1995. Protein kinases and phosphatases: the yin and yang of protein phosphorylation and signaling. Cell 80: 225-236.

Iswari D. 1998. Seri Pengalaman Obat tradisional. Jakarta: PT Niaga Swadaya.

Jang MK, Sohn DH, Ryu JH. 2001. A curcuminoid and sesquiterpenes as inhibitors of macrophage TNF salpha release from Curcuma zeodaria. Planta Med 67: 550-552 [26 Juni 2005].

Liu, Chi J, Chan P, Hsu FL, Chen YJ, Hsieh MH, Lo MY, Lin JY. 2003. The in vitro inhibitory effects of crude extracts of traditional chinese herbs on 3- hydroxy- 3- methylglutaryl coenzyme a reductase on vero cells. Journal Natural Product 158: 89-93

Malhmann S. 2000. Signalling by Tyrosin Kinase on Regular and Disrupted Hemetopiesis. Swiss: Brussel Institute for Immunology.

Meyer BN, Ferrigni NR, Putnam JE, Jacobsen LB, Nichols DE, Mclaughlin JL. 1982. Brine Shrimp: A Convenient General Bioassay for Active Plant Constituents. Planta Medica 45: 31-34.

Minyi C. 2001. Anticancer Medical Herbs. New York: American Institut Cancer Report.

Novalina SP. 2003. Penggunaan Tanaman Obat Sebagai Upaya Alternatif dalam Terapi Kanker. http://rudyct.topcities. com/pps702_1034/novalina.htm [1 Mei 2005].

O'Dwyer ME, Druker BJ. 2000. The role of tyrosine kinase inhibitor ST1571 in the treatment of cancer. Portland: Leukimia Program, Oregon Health Sciences University.

Schunak W, Mayer K, Haake M. 1990. Senyawa Obat. Ed ke-2. Wattinema J, Soebito S, penerjemah. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Setiawan OD. 2004. Pengaruh Ekstrak Kloroform Temu Putih (Curcuma zeodaria) pada Aktivitas Enzim Tirosin Kinase. [Skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Siswandono, Soekardjo. 1995. Kimia Medisinal. Surabaya: Airlangga University Press.

Simadibrata M. 2004. Diare dan Konstipasi Akibat Kemoterapi. http://www. dharmais.co.id./new/content.php?page=article&lang=id&id=8yu [1 April 2005].

Soedibyo M. 1993. Inventaris Tanaman Obat Indonesia (II). Jakarta: Departemen Kesehatan RI.

Syukur C, Hernani. 2001. Budi Daya Tanaman Obat Komersial. Bogor: Penebar Swadaya.

Syu WJ, Shen CC, Don MJ, Ou JC, Lee GH, Sun CM. 1998. Cytotoxicity of curcuminoids and some novel compounds from Curcuma zeodaria. Journal Natural Product 261: 128-134.

Utami KP. 2000. Temu putih redam kanker leher rahim. Trubus 31: 19-20.

Voller A, Bidwell DE, Bartleft A. 1986. Microplate enzyme immunoassay for the immunodiagnosis of virus infections. Di dalam Rose NR, Friedman H, editor. Manual of Clinical Laboratory Immunology. Ed ke-3. Washington: American Society for Microbiology.

Wahyuni TL. 2003. Uji Perbandingan Efek Analgesik Infus Temu Putih (Curcuma zedoaria Rosc.) dan Temu mangga (Curcuma mangga Val. Et Zipp) pada Mencit. Jurnal Bahan Alam Indonesia. 2: 81-84.

WHO. 2004. Cancer. http://www.who.com. int/cancer [1 April 2005].

Wijayakusuma HMH. 1997. Hidup Sehat Secara Hembing. Volume ke-6. Jakarta: PT Gramedia.

UJI FISIKA KIMIA STABILITAS PIGMEN KAROTENOID PADA EKSTRAK KASAR BUAH MERAH PAPUA (*Pandanus conoideus* Lam.): POTENSI SEBAGAI PEWARNA ALAMI

Lisiard Dimara[1] Ferdy S. Rondonuwu[1,2] dan Leenawaty Limantara[1,3]

[1]Program Pascasarjana Magister Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana
[2]Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana
Jl. Diponegoro No. 52 - 61 Salatiga 50711, Jawa Tengah
[3]Ma Chung Research Center for Photosynthetic Pigments,
Universitas Ma Chung, Villa Puncak Tidar No.01, Malang 65151
Email: lisiard_dmr@yahoo.co.id

Abstrak

Buah Merah (*Pandanus conoideus* Lam.) merupakan tumbuhan endemik Papua dengan penyebaran sangat luas dari permukaan dataran rendah sampai dataran tinggi di Papua. Buah Merah memiliki beberapa senyawa aktif, salah satunya adalah kandungan karotenoid yang berfungsi sebagai pro-vitamin A (tokoferol) dan antioksidan. Karotenoid merupakan senyawa antioksidan yang mengandung pigmen berwarna merah yang terdapat pada biji-biji buah berupa selaput yang melapisi biji buah merah. Kandungan karotenoid dan tokoferol yang terdapat dalam sari buah merah sangat tinggi, yaitu total karotenoid 12.000 ppm, total tokoferol 11.000 ppm, beta-karoten 700 ppm dan alfa-tokoferol 500 ppm. Pigmen karotenoid memiliki sifat fisika kimia yang tidak stabil terhadap suhu, cahaya, dan pH. Hasil uji stabilitas pigmen karotenoid pada ekstrak kasar buah merah menunjukkan kestabilan pigmen yang kuat pada suhu 37 ^{o}C dan 50 ^{o}C. Laju degradasi pigmen Buah Merah pada suhu 37 ^{o}C adalah 4,33% dan pada suhu 50 ^{o}C adalah 1,45%. Iradiasi menggunakan cahaya polikromatik selama 10 jam dengan intensitas cahaya 1600 lux menyebabkan degradasi pigmen karotenoid Buah Merah sebesar 10,50%, sedangkan pengaruh cahaya UV-C selama 10 jam iradiasi dengan intensitas cahaya 100 lux menyebabkan degradasi sebesar 8,15%. pH tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap degradasi pada pigmen karotenoid Buah Merah, karena sifat karoten ini cukup stabil terhadap kondisi asam dan basa.

Kata kunci: Fisika, Kimia, Stabilitas, Karotenoid, Buah Merah

1. PENDAHULUAN

Buah Merah (*Pandanus conoideus* Lam.) merupakan tumbuhan endemik Papua, artinya hanya ditemukan di Papua. Secara umum habitat asal tumbuhan ini adalah hutan primer dan sekunder dengan kondisi tanah yang lembab. Tanaman ini ditemukan tumbuh pada ketinggian permukaan laut antara 2 – 2300 meter dari permukaan laut, sehingga penyebarannya sangat luas dan hampir di semua tempat di Papua dan Papua New Guinea

dapat ditemukan tanaman Buah Merah (Indriani *dkk.,* 2005; Mulyono dan Astuti, 2005; Wiryanta, 2005). Dengan demikian, tumbuhan Buah Merah ini dapat tumbuh di Papua pada daerah dataran rendah maupun dataran tinggi.

Tumbuhan Buah Merah termasuk kelompok tumbuhan terna berbentuk semak, perdu atau pohon (Indriani *dkk.,* 2005). Tumbuhan ini memiliki daun tunggal yang panjang (±150 cm) berbentuk spiral atau pita, berwarna hijau tua dan berduri atau tidak berduri pada tepi daun (tergantung jenisnya). Batang tanaman bercabang banyak, tegak, bergetah, tinggi mencapai 16 meter dengan tinggi batang bebas cabang 5 – 8 meter di atas permuakaan tanah (Indriani *dkk.,* 2005; Mulyono dan Astuti, 2005).

Di Papua terdapat lebih dari 30 jenis kultivar Buah Merah, namun yang banyak dikembangkan hanya 4 jenis karena memiliki nilai ekonomis, yaitu kultivar merah panjang, merah pendek, coklat dan kuning (Indriani *dkk*, 2005). Ukuran Buah Merah (kategori kelompok panjang) adalah 96 – 102 cm dengan diameter 15 – 20 cm dengan bobot buah 7 – 25 kg. Kemudian kultivar bauh merah pendek memiliki panjang ±55 cm, diameter 10 - 15 cm dan bobot buah 2 – 3 kg (Indriani *dkk.,* 2005; Mulyono dan Astuti, 2005).

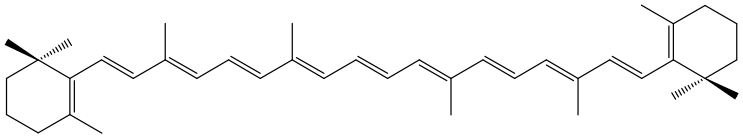
Buah *Pandanus conoideus* Lam. ini tersusun dari ribuan biji yang tertata rapi membentuk kulit buah, panjang biji ± 9 – 13 mm dengan bagian atas meruncing, pangkal biji menempel pada tongkol buah, ujung biji terbentuk totol hitam pada kulit biji dan selaput biji berwarna merah tua ketika sudah matang (Indriani *dkk.,* 2005).

Secara tradisional, Buah Merah telah dikonsumsi oleh orang Papua sebagai bahan pangan dan obat tradisional karena diyakini memiliki khasiat untuk mengobati penyakit kebutaan, cacingan, penyakit kulit, menambah darah, serta dapat dikelolah menjadi minyak goreng, pengganti minyak kelapa (Indriani *dkk.,* 2005).

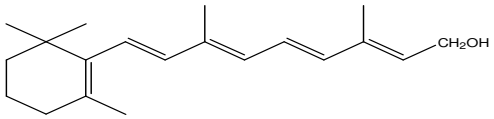
Menurut sistem penamaan jenis tumbuh-tumbuhan "*binomial nomenclature*", Buah Merah Papua diklasifikasikan kedalam Divisi Spermatophyta, Kelas Angiospermae, Subkelas Monokotiledonae, Ordo Pandanales, Famili Pandanaceae, Genus *Pandanus*, Spesies *Pandanus conoideus* Lam. (Indriani *dkk.,* 2005).

Buah Merah mengandung senyawa-senyawa aktif seperti karotenoid, tokoferol, beta-karoten, dan alfa-tokoferol. Total kandungan karotenoid pada Buah Merah adalah 12.000 ppm, total tokoferol 11.000 ppm, beta-karoten 700 ppm dan alfa-tokoferol 500 ppm. Senyawa-senyawa tersebut berfungsi sebagai antioksidan atau penangkal radikal bebas (pencegah penyakit/racun), karena senyawa-senyawa dimaksud mampu menetralisir zat-zat radikal bebas dalam tubuh yang merupakan sumber pemicu timbulnya berbagai penyakit,

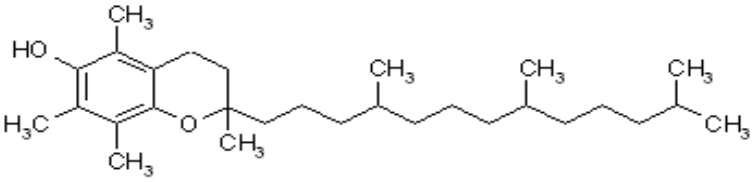
terutama penyakit degeneratif. Dengan tingginya kadar antioksidan, Buah Merah memiliki efek antikanker yang kuat (Budi dan Paimin, 2005; Indriani *dkk.,* 2005; Mulyono dan Astuti, 2005).



Gambar 1. Struktur molekul Betakaroten (pro-Vitamin A)



Gambar 2. Struktur molekul Retinol (Vitamin A)



Gambar 3. Struktur molekul Tokoferol (Vitamin E)

Gambar 1, 2, dan **3** merupakan struktur molekul kimia Beta-karoten (pro-vitamin A) dan Tokoferol (vitamin E) yang banyak terkandung dalam sari Buah Merah sebagai senyawa antioksidan, yaitu senyawa yang mudah sekali teroksidasi. Apabila antioksidan bertemu dengn radikal bebas, ia akan segera teroksidasi, sehingga dengan demikian jaringan atau organ tubuh yang sehat akan terlindung dari pengaruh oksidasi dan perusakan oleh radikal bebas (Indriani *dkk.,* 2005; Khomsan, 2005; Dalimartha, 2005; Uripi, 2005; Lauren, 2005).

Berdasarkan analisis Budi dan Paimin (2005), Buah Merah memiliki komposisi zat gizi per 100 gram Buah Merah yaitu, energi 394 kalori, protein 3300 mg, lemak 28,100 mg, serat 20,900 mg, kalsium 54.000 mg, fosfor 30 mg, besi 2,44 mg, vitamin B1 0,9 mg, vitamin C 25,7 mg, nialin 1,8 mg dan air 34,9 %. Selain itu Buah Merah juga mengandung total karotenoid 12.000 ppm, total tokoferol 11.000 ppm, beta-karoten 700 ppm, alfa-tokoferol 500 ppm, asam oleat 58 %, asam linoleat 8,8 %, asam linolenat dan dekanoat 2,0 %. Menurut Bittencourt *et al*., (2005); Sajilata and Singhal (2006) *dalam* Suparmi *dkk*., (2007); Indriani *dkk*., (2005) pigmen karotenoid merupakan pewarna alami yang sifatnya tidak stabil sehingga mudah terdegradasi - teroksidasi oleh adanya suhu yang tinggi, pH pelarut, udara dan iradiasi cahaya dengan intensitas tinggi dalam waktu yang lama. Adanya kandungan

karotenoid yang tinggi (12.000 ppm) pada Buah Merah sebagai pro-vitamin A yang secara umum stabil dan tahan dalam panas, asam dan alkali, sedangkan karotenoid mudah teroksidasi oleh cahaya dan udara (Indriani *dkk*., 2005).

Potensi pigmen buah merah sebagai pewarna alami makanan di Indonesia perlu dikembangkan sejalan dengan maraknya kasus penyalahgunaan bahan pewarna sintetik. Permasalahan utama dalam penggunaan pigmen sebagai pewarna alami makanan adalah menjaga stabilitas warna pigmen selama pengolahan dan penyimpanan makanan, sehingga tidak terjadi degradasi warna (Kiattisak *et al*., 2004 *dalam* Suparmi *dkk*., 2008). Scotter *et al*. (1994) *dalam* Suparmi *dkk*., (2008) melaporkan bahwa karotenoid bersifat rentan terhadap degradasi oksidatif.

Secara tradisional pigmen buah merah telah dimanfaatkan oleh masyarakat Papua sebagai bahan pewarna alami, seperti mencampur buah merah dengan ubi-ubian sambil dimasak, pewarna aneka kue dari ubi-ubian, pewarna bahan anyaman tas, perhiasan, dan pakaian adat tari-tarian tradisional. Berdasarkan pemanfaatan secara tradisional tersebut, pigmen buah merah memiliki potensi sebagai pewarna alami yang perlu diuji kestabilannya sebagai pewarna makanan, minuman dan tekstil.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas pigmen karotenoid pada ekstrak kasar Buah Merah Papua (*Pandanus conoideus* Lam.) terhadap cahaya polikromatik, cahaya Ultra Violet golongan C (UV-C), temperatur dan pH larutan dengan seri waktu 2 jam, selama 10 jam pengamatan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan

Sampel yang digunakan adalah Buah Merah (*Pandanus conoideus* Lam.) yang diperoleh dari Jayapura, Papua. Bahan kimia yang digunakan adalah aseton teknis, aseton p.a., $CaCO_3$, NaCl jenuh, Na_2SO_4, HCL, NaOH, petrolium eter, dietil eter, n-heksana, ethanol, asam asetat, gas N_2 dan akuades.

Peralatan yang digunakan antara lain peralatan gelas standar, spektrofotometer berkas rangkap Varian Cary 50, rotary evaporator, lampu polikromatik merk Philips 80 Watt (1600 lux), lampu UV-C merk Philips 15 Watt (100 lux) dan Waterbath.

2.2. Esktraksi (Britton *dkk*.,1982)

Sampel buah merah dilarutkan dalam aseton p.a, ditambahkan $CaCO_3$ kemudian distirer dan difiltrasi. Ekstraksi dilakukan sebanyak tiga kali, sehingga sampel buah merah terlihat berwarna pucat, artinya semua pigmen telah terangkat. Hasil ekstrak kasar dipartisi menggunakan pelarut aseton p.a dan disaturasi dengan NaCl jenuh. Partisi dilakukan menggunakan corong pisah, maka akan terbentuk dua lapisan, sehingga dengan jelas terlihat lapisan pigmen karotenoid buah merah terdapat di bagian atas pada corong pisah. Pigmen tersebut diambil lalu disaring menggunakan kertas saring. Hasil saringan dikeringkan menggunakan rotary evaporator, dan pigmen tersisah yang masih bercampuran dengan palarut kemudian dipekatkan menggunakan gas N_2.

2.3. Preparasi Larutan Uji

Untuk mengetahui efek pH terhadap stabilitas pigmen karotenoid pada Buah Merah, disediakan stok pH larutan yang diperoleh dari pencampuran antara aseton p.a., NaOH, dan HCL. Sambil larutan tersebut diaduk-aduk, ditambahkan NaOH (bila ingin basa) atau HCL (bila ingin asam) dan dikontrol dengan pH meter hingga mencapai ukuran pH yang diinginkan, yaitu pH 3, 7, dan 13. Sedangkan larutan uji diperoleh dengan pencampuran sari Buah Merah pekat yang diencerkan menggunakan aseton p.a. Hasil pengenceran digunakan untuk membuat stok larutan uji dengan pencampuran antara aseton p.a 16 ml dan 4 ml sari Buah Merah hasil pengenceran.

2.4. Pengaruh cahaya (*Fotostabilitas*)

Fotostabilitas karotenoid Buah Merah diuji dengan dua jenis sumber cahaya yang berbeda, yaitu cahaya polikromatik menggunakan lampu *daylight* merk Philips 80 Watt dengan intensitas cahaya 1600 lux dan cahaya UV-C menggunakan lampu UV-C merk Philips 15 Watt dengan intensitas cahaya 100 lux. Perlakuan irradiasi dilakukan pada suhu ruang dan larutan dihomogenisasi menggunakan *magnetik stirer*. Pengamatan fotostabilitas pigmen karotenoid Buah Merah ini dilakukan setiap dua jam selama 10 jam iradiasi cahaya polikromatik dan cahaya UV-C.

2.5. Pengaruh suhu (*Termostabilitas*)

Larutan uji sebanyak 20 ml dimasukkan kedalam botol vial, kemudian dipanaskan pada suhu 37 °C dan 50 °C (Rao *et al*., 2004 *dalam* Suparmi *dkk*., 2008). Perlakuan suhu 37 °C dan 50 °C ini dilakukan dengan memasukkan larutan uji dalam botol vial kemudian

dipanaskan dalam waterbath. Uji termostabilitas pigmen karotenoid Buah Merah ini dilakukan selama 10 jam dan diamati setiap 2 jam.

2.6. Pengaruh pH larutan

Stabilitas karotenoid Buah Merah terhadap pengaruh pH diuji pada 3 tingkat keasaman yaitu pH 3, 7, dan 13. Pelarut aseton dengan pH 3, 7, dan 13 dibuat dengan mencampurkan aseton p.a, NaOH, dan HCL. Sambil diaduk-aduk campuran larutan tersebut, ditambahkan NaOH (bila ingin pH basa) atau HCL (bila ingin pH asam) dan dikontrol menggunakan pH meter hingga mencapai konsentrasi pH dimaksud. Pengamatan stabilitas karotenoid Buah Merah pada berbagai variasi pH dilakukan dengan melarutkan larutan sampel buah merah ke dalam larutan pH yang tersedia kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer berkas rangkap Varian Cary 50 (Wijaya *dkk*., 2001; Jespersen *et al*., 2005 *dalam* Suparmi *dkk*., 2008).

2.7. Analisis Data

Data uji stabilitas karotenoid Buah Merah yang diperoleh dari pengamatan tiap-tiap parameter (uji fotostabilitas, termostabilitas, dan pH) kemudian dianalisa melalui pengamatan pola spektra absorbsi dari spektrofotometer berkas rangkap Varian Cary 50 pada panjang gelombang 350 – 600 nm. Pola spektra absorbsi spektrofotometer dari tiap-tiap parameter tersebut kemudian digambarkan menggunakan Program Origin 6.1. Visualisasi warna larutan diamati menggunakan kamera digital *Nikon Coolpix 7600*.

Nilai absorbansi pada panjang gelombang maksimum (A) digunakan untuk menghitung konstanta laju degradasi (*k*) yang dianalisis menggunakan regresi linear dengan Program Microsoft Excel 2007 dari rasio $(A-A_0)/A_0$ terhadap waktu (Jespersen *et al*., 2005 *dalam* Suparmi *dkk*., 2008).

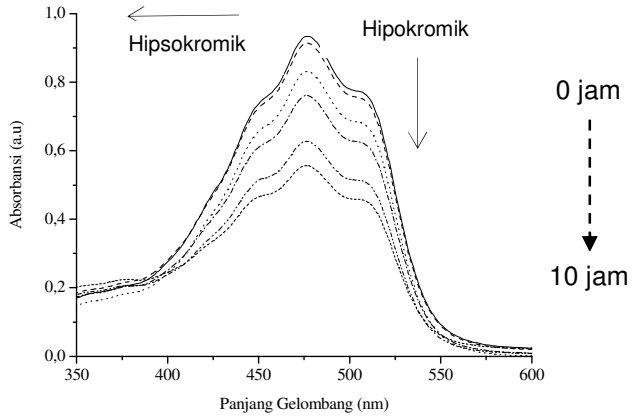
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh cahaya (*Fotostabilitas*)

3.1.1. Fotostabilitas karotenoid buah merah terhadap cahaya polikromatik

Pola spekra absorbsi karotenoid pada ekstrak kasar Buah Merah cenderung menurun seiring bertambahnya waktu iradiasi, sebagaimana ditunjukkan **Gambar 4**. Penurunan puncak absorbsi pada larutan karoten ini menunjukkan bahwa pigmen karoten yang terlarut dalam pelarut aseton telah mengalami degradasi akibat pengaruh iradiasi cahaya polikromatik.

Hasil regresi linear menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara waktu iradiasi dengan rasio $(A-A_0)/A_0$, dimana penurunan rasio $(A-A_0)/A_0$ semakin besar seiring bertambahnya waktu iradiasi. Iradiasi cahaya polikromatik selama 10 jam menyebabkan degradasi karotenoid Buah Merah dengan laju degradasi tiap dua jam sebesar 10,50%. Karotenoid Buah Merah memiliki sifat tidak stabil terhadap cahaya sehingga akan mengalami degradasi bila disinari dalam waktu yang lama. Indikasinya adalah pigmen mengalami penurunan absorbansi, sehingga peluang terjadinya produk degradasi yang lebih kecil dari molekul awalnya bisa terbentuk (Fennema, 1994; Nurcahyanti dan Limantara, 2007; Suparmi *dkk*., 2008; Manggaprouw *dkk*., 2008).



Gambar 4. Perubahan pola spektra absorbsi pigmen karotenoid ekstrak kasar buah merah dalam pelarut aseton selama 10 jam iradiasi cahaya polikromatik (pengukuran setiap 2 jam)

Berdasarkan **Gambar 4**, iradiasi cahaya polikromatik menyebabkan terjadi pergeseran pita ke panjang gelombang yang lebih pendek (*hipsokromik*) seiring penambahan waktu iradiasi. Limantara *dkk*. (2006) menyatakan bahwa mekanisme terjadinya pergeseran panjang gelombang *hipsokromik* dan *batokromik* (pergeseran pita ke panjang gelombang yang lebih panjang) mengindikasikan bahwa ada interaksi oksigen dengan logam pusatnya. Sajilata dan Singhal (2006) melaporkan bahwa, iradiasi cahaya dengan intensitas tinggi dalam waktu yang lama akan menyebabkan degradasi pigmen yang ditandai dengan perubahan warna pigmen yang berbeda dari warna sebelum diiradiasi. Energi foton cahaya polikromatik yang diabsorbsi menyebabkan karotenoid Buah Merah terdegradasi membentuk molekul baru dengan struktur kimia yang lebih sederhana dibandingkan molekul karotenoid Buah Merah pada awalnya, dan menyebabkan perubahan struktur serta sifat-sifat kimia karotenoid.

Penurunan puncak-puncak serapan dan pergeseran panjang gelombang secara *hipsokromik* selama iradiasi cahaya polikromatik ditampilkan pada **Tabel 1**.

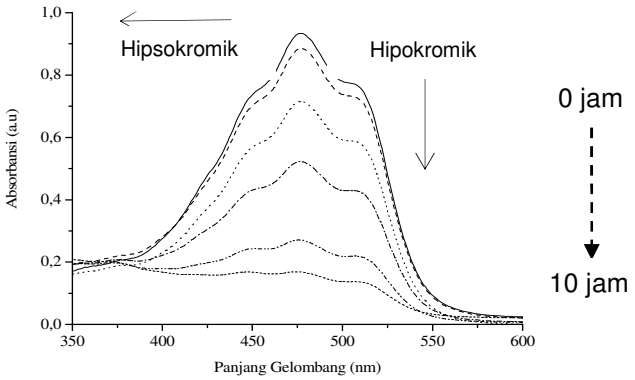
Tabel 1. Panjang gelombang serapan maksimum karotenoid buah merah selama 10 jam iradiasi menggunakan cahaya polikromatik (pengukuran setiap 2 jam)

Waktu Iradiasi (jam)	Panjang Gelombang Maksimum (nm)	Absorbansi (a.u)
0	477,07	0,94
2	477,07	0,92
4	477,07	0,84
6	477,07	0,77
8	477,07	0,63
10	476,02	0,56

Dalam Tabel 1, terlihat bahwa proses pergeseran pita ke panjang gelombang yang lebih pendek (*hipsokromik*) hanya terjadi pada jam ke 10, yaitu dari panjang gelombang maksimum 477,07 nm bergeser ke panjang gelombang 476,02 nm. Manggaprouw *dkk*. (2008) melaporkan bahwa iradiasi menggunakan cahaya polikromarik terhadap karotenoid Buah Merah menyebabkan penurunan puncak serapan sebesar 54,40% tiap 5 jam selama 20 jam pengamatan, dan mengalami pergeseran pita panjang gelombang ke arah panjang gelombang yang lebih pendek *hipsokromik* bila disinari cahaya polikromatik dalam waktu lama.

3.1.2. Fotostabilitas karotenoid buah merah terhadap cahaya UV-C

Pola spekra absorbsi karotenoid Buah Merah menurun seiring bertambahnya waktu irradiasi, seperti ditampilkan **Gambar 5**. Penurunan serapan larutan ini menunjukkan bahwa karotenoid Buah Merah yang terlarut dalam aseton sudah mengalami degradasi akibat pengaruh iradiasi cahaya UV-C.



Gambar 5. Perubahan pola spektra absorbsi pigmen karotenoid ekstrak kasar buah merah dalam pelarut aseton selama 10 jam iradiasi cahaya UV-C (pengukuran setiap 2 jam)

Cahaya UV-C menyebabkan degradasi karotenoid Buah Merah dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan cahaya polikromatik. Laju degradasi sebesar 8,15% per 2 jam pada cahaya UV-C. Degradasi pigmen yang terjadi cepat ini dipengaruhi oleh cahaya UV-C yang memiliki energi besar, walaupun panjang gelombangnya pendek (Manggaprouw *dkk*., 2008). Wiles dan Carlsson (1987) melaporkan bahwa, panjang pendeknya gelombang cahaya yang diterima oleh suatu molekul merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan fotodegradasi. Fotodegradasi ini terjadi sebagai akibat perubahan kimiawi dari suatu senyawa atau molekul menjadi senyawa atau molekul yang lebih kecil atau sederhana, sebagai efek absorbsi foton, baik dari cahaya ultra-violet, cahaya tampak, atau pun sinar infra merah. Perubahan tersebut meliputi komposisi molekul, perubahan warna, pemutusan ikatan, dan pengaturan kembali atom-atom dalam suatu molekul (Wiles and Carlsson, 1987; Lagowski, 1997).

Degradasi pigmen yang disebabkan oleh cahaya disebut dengan fotodegradasi. Lampu UV-C memberikan pengaruh terhadap degradasi pigmen karotenoid Buah Merah, sehingga yang semula berwarna kuning oranye menjadi warna pucat atau bening, yang dikenal dengan *fotoblanching* pada sampel larutan karotenoid Buah Merah.

Pengamatan visual warna karotenoid Buah Merah pada ekstrak kasar Buah Merah Papua selama iradiasi dilakukan (**Gambar 6**) memperlihatkan warna kuning oranye yang berangsur-angsur hilang per dua jam pengamatan, sehingga pada jam ke 10 larutan karotenoid Buah Merah tidak berwarna kuning oranye lagi, artinya pigmen tersebut telah terdegradasi habis karena pengaruh sinar UV-C.

(a) (b)

Gambar 6. Perubahan warna pigmen karotenoid ekstrak kasar buah merah dalam pelarut aseton selama 10 jam iradiasi cahaya UV-C: (a) sebelum iradiasi dan (b) setelah iradiasi (pengukuran setiap 2 jam)

Penurunan puncak-puncak serapan selama iradiasi sinar UV-C ditampilkan pada **Tabel 2**. Dalam **Tabel 2,** terlihat bahwa proses pergeseran pita ke panjang gelombang yang lebih pendek (*hipsokromik*) terjadi pada jam ke 8 dan 10, yaitu dari panjang gelombang maksimum

477,07 nm bergeser ke pita panjang gelombang yang lebih pendek 476,02 nm dan 474,02 nm.

Tabel 2. Panjang gelombang serapan maksimum karotenoid buah merah selama 10 jam iradiasi menggunakan cahaya UV-C (pengukuran setiap 2 jam)

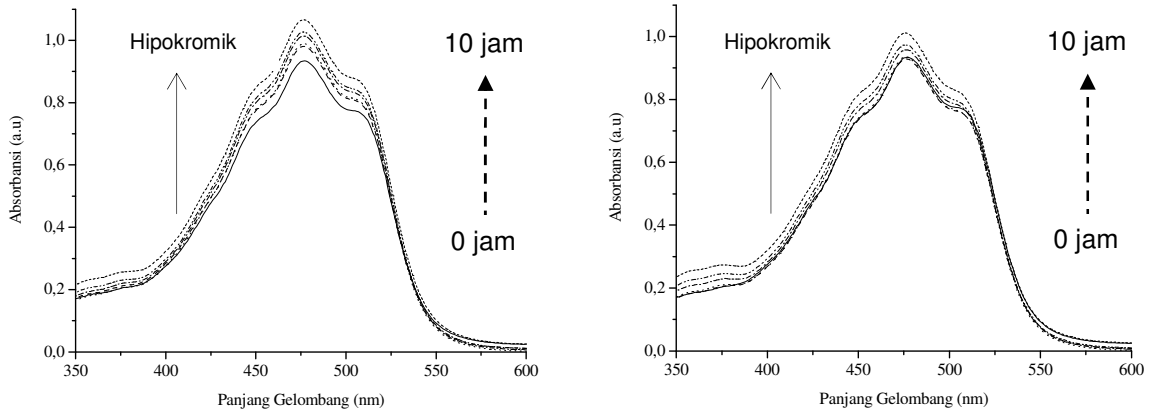
Waktu Iradiasi (jam)	Panjang Gelombang Maksimum (nm)	Absorbansi (a.u)
0	477,07	0,94
2	477,07	0,89
4	477,07	0,72
6	477,07	0,53
8	**476,02**	0,28
10	**474,02**	0,17

Perbandingan laju fotodegradasi pigmen karotenoid Buah Merah antara iradiasi cahaya polikromatik dan UV-C menunjukkan adanya kontradiksi pada waktu degradasi dan nilai laju degradasi. Pada iradiasi cahaya UV-C pigmen lebih cepat terdegradasi, namun memiliki laju degradasi lebih kecil dengan rasio $(A-A_0)/A_0$ adalah 8,15%, sedangkan iradiasi cahaya polikromatik menyebabkan degradasi pigmen yang lambat, namun memiliki laju degradasi lebih besar dengan rasio $(A-A_0)/A_0$ adalah 10,50%. Hal ini dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang tidak sama, yaitu pada lampu polikromatik 80 Watt intensitas cahayanya adalah 1600 lux sedangkan lampu UV-C 15 Watt memiliki intensitas cahaya sebesar 100 lux. Selain itu, cahaya UV-C memiliki panjang gelombang yang lebih pendek, namun energinya lebih tinggi dari pada cahaya polikromatik.

3.2. Pengaruh suhu (*Termostabilitas*)

3.2.1. Termostabilitas karotenoid buah merah pada suhu 37 °C dan 50 °C

Penurunan serapan karotenoid Buah Merah pada dua variasi suhu pemanasan ini ternyata tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan seperti ditunjukkan **Gambar 7**.



(a) **(b)**

Gambar 7. Perubahan pola spektra absorbsi pigmen karotenoid ekstrak kasar buah merah dalam pelarut aseton selama 10 jam pemanasan pada (a) suhu 37 °C dan (b) 50 °C (pengukuran setiap 2 jam)

Penurunan pola spektra serapan selama 10 jam pemanasan pada gambar di atas menunjukkan bahwa karotenoid Buah Merah bersifat lebih stabil pada kondisi suhu 37 °C dan 50 °C dengan penurunan absorbansi sebesar 4,33% dan 1,45%. Karotenoid memiliki sifat yang cenderung stabil terhadap panas, sehingga tidak terdapat perubahan signifikan dalam degradasi karotenoid Buah Merah (Indriani *dkk*., 2005). Stabilitas karotenoid Buah Merah terhadap suhu juga ditunjukkan pada warna larutan yang tidak berubah signifikan dibandingkan warna larutan awal, sebagimana terlihat pada **Gambar 8**.

(a) **(b)**

Gambar 8. Foto warna larutan karotenoid buah merah dalam pelarut aseton: (a) sebelum pemanasan dan (b) setelah pemanasan pada suhu 37 °C dan 50 °C selama 10 jam pemanasan (pengukuran setiap 2 jam)

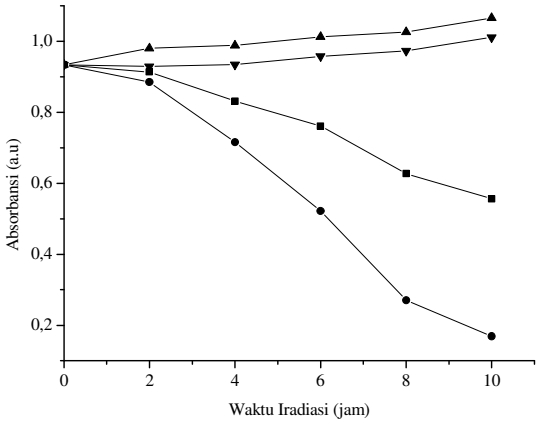
Penurunan puncak-puncak serapan selama pemanasan pada suhu 37 °C dan 50 °C ditampilkan pada **Tabel 3**. Dalam tabel tersebut terlihat bahwa pada suhu 37 °C proses pergeseran pita ke panjang gelombang yang lebih pendek (*hipsokromik*) terjadi pada jam ke 6 dan 8, yaitu dari panjang gelombang maksimum 477,07 nm bergeser ke pita panjang

gelombang yang lebih pendek 476,02 nm, kemudian pada jam ke 10 terjadi pergeseran pita secara *batokromik*, yaitu dari panjang gelombang 476,02 nm bergeser ke pita panjang gelombang yang lebih panjang yaitu 477,07 nm. Pada suhu 50 ^{o}C terjadi pergeseran *batokromik*, yaitu dari panjang gelombang 476,02 nm ke panjang gelombang 477,07 nm, dan pada jam ke 6 – 10 terjadi pergeseran *hipsokromik* dari panjang gelombang 477,07 ke panjang gelombang 476,02 nm. Limantara *dkk*. (2006) melaporkan bahwa mekanisme terjadinya pergeseran panjang gelombang *hipsokromik* dan *batokromik* mengindikasikan bahwa ada interaksi oksigen dengan logam pusat molekul pigmen.

Tabel 3. Panjang gelombang serapan maksimum karotenoid buah merah selama 10 jam pemanasan menggunakan waterbath pada suhu 37 ^{o}C dan 50 ^{o}C (pengukuran setiap 2 jam)

Waktu Pemanasan (jam)	Suhu 37 ^{o}C		Suhu 50 ^{o}C	
	Pjg. Gelombang Maksimum (nm)	Absorbansi (a.u)	Pjg. Gelombang Maksimum (nm)	Absorbansi (a.u)
0	477,07	0,94	477,07	0,94
2	477,07	0,99	476,02	0,95
4	477,07	0,99	477,07	0,94
6	476,02	1,02	476,02	0,96
8	476,02	1,03	476,02	0,98
10	477,07	1,07	476,02	1,02

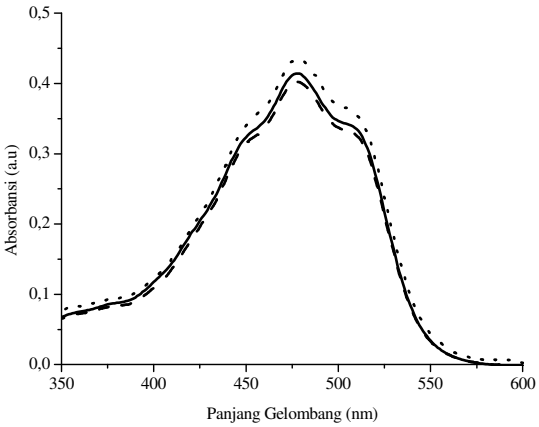
Proses degradasi pigmen karotenoid Buah Merah yang terjadi pada iradiasi cahaya polikromatik (-■-) cenderung lebih stabil dengan penurunan kinetika reaksi yang relatif lambat dibandingkan dengan iradiasi menggunakan sinar UV-C (-●-) yang kinetika reaksi degradasinya cenderung lebih cepat, seperti ditunjukkan pada **Gambar 9**. Pemanasan pada suhu 37 ^{o}C (-▲-) dan 50 ^{o}C (-▼-) memberikan pengaruh degradasi pigmen karotenoid Buah Merah yang tidak signifikan, bahkan terlihat kinetika reaksinya mengalami kenaikan hingga pada jam ke 10, artinya pigmen Buah Merah ini sangat stabil terhadap panas pada suhu 37 ^{o}C dan 50 ^{o}C (**Gambar 9**).



Gambar 9. Grafik kinetika degradasi karotenoid buah merah dalam pelarut aseton selama 10 jam iradiasi: cahaya polikromatik (-■-) dan cahaya UV-C (-●-); pemanasan pada suhu 37 ^{o}C (-▲-) dan 50 ^{o}C (-▼-), pengukuran setiap 2 jam

3.3. Pengaruh pH

Stabilitas karotenoid Buah Merah dipengaruhi oleh pH larutan. Pola spektra absorbsi karotenoid Buah Merah yang dilarutkan dalam aseton dengan kisaran pH 3, 7, dan 13 tampak tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap degradasi pigmen karotenoid Buah Merah, artinya pigmen Buah Merah cukup stabil terhadap pH larutan yang bersifat asam, netral, maupun basa, seperti ditunjukkan pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Perubahan pola spektra absorbsi pigmen karotenoid ekstrak kasar buah merah dalam pelarut aseton pada pH 3 (_____), pH 7 (_ _ _ _ _), dan pH 13 (.....)

Berdasarkan gambar di atas diketahui bahwa pada kondisi asam (pH semakin kecil) maupun kondisi basa (pH semakin besar) tidak memberikan pengaruh degradasi yang berarti

terhadap karotenoid Buah Merah, karena sifat karotenoid sendiri cukup stabil dalam kondisi alkalin (Indriani *dkk*., 2005).

Tabel 4. Panjang gelombang serapan maksimum dan absorbsi pigmen karotenoid buah merah pada tiga pH larutan

pH Larutan	λ_{maks} (nm)	Absorbansi (a.u)
3	477,99	0,42
7	477,99	0,41
13	477,99	0,44

4. KESIMPULAN

Hasil iradiasi menggunakan cahaya polikromatik selama 10 jam menyebabkan degradasi pigmen karotenoid Buah Merah sebesar 10,50%, sedangkan pengaruh cahaya UV-C selama 10 jam iradiasi menyebabkan degradasi sebesar 8,15%. Pengujian stabilitas pigmen karotenoid Buah Merah pada suhu 37 ^{o}C dan 50 ^{o}C menunjukkan stabilitas yang kuat dengan laju degradasi pada suhu 37 ^{o}C sebesar 4,33% dan laju degradasi pada suhu 50 ^{o}C sebesar 1,45%. pH tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap degradasi pada pigmen karotenoid Buah Merah, karena sifat karoten yang sangat stabil terhadap keasaman. Pigmen karotenoid Buah Merah berpotensi digunakan sebagai bahan pewarna alami makanan, minuman, kosmetik, dan tekstil, karena secara tradisional telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan pewarna alami makanan, minuman, dan pakaian adat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Departemen Pendidikan Nasional yang telah memberikan beasiswa melalui Program Beasiswa Unggulan 'Persemaian Insan Indonesia Cerdas 2007' kepada Lisiard Dimara melalui Program Pascasarjana Magister Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga. Terima kasih penulis sampaikan juga kepada Dinas Pendidikan dan Pengajaran Provinsi Papua yang telah memberikan bantuan biaya studi tahun 2008.

DAFTAR PUSTAKA

Bittencourt, C., Marcella P. Felicissimo., Jean-Jacques Pireaux., and Houssiau. 2005**.** Study of Annatto from *Bixa orellana* Seeds: an Application of Time-of-flight Secondary Ion Mass Spectrometry. *Article Spectroscopy Europe,* Vol. 17 No. 2 (2005). www.spectroscopyeurope.com.

Britton G, Liaaen-Jensen, and Pfander H., 1982. Carotenoids: Isolation and Analysis. Birkhauser Velog Basel. Boston. Berlin. Pp 93-94.

Budi I Made dan Paimin F.R., 2005. Buah Merah. Penebar Swadaya. Jakarta

Dalimartha Setiawan, 2005. Buah Merah, Apa Manfaatnya?. Penebar Swadaya Wisma Hijau. Bogor.

Fennema O. R., 1996. Food Chemistry – 3rd ed. New York: Marcel Dekker, Inc.

Indriani Y.H., Hartono R., Setyanova I., Dalimartha S., Khomsan A., Pranadji D.K., Uripi V., dan Hernani, 2005. Fenomena Buah Merah. Penebar Swadaya Wisma Hijau. Bogor.

Jespersen, L., L.D. SrØmdahl, K. Olsen, and L.H. Skibted. 2005. Heat and Light Stability of Three Natural Blue Colorants for Use In Confectionery and Beverages. Eur Food Res Technol (2005) 220:261–266.

Khomsan Ali, 2005. Kanker vs Buah Merah. Penebar Swadaya Wisma Hijau. Bogor.

Kiattisak, D., Busararat, S., and Suchitra, S. 2004. Roselle Anthocyanins as a Natural Food Colorant and Improvement of Its Colour Stability. AIC 2004 Colour and Paints. Interim Meeting of the International Colour Association, Proceedings. p.155-158.

Lagowski, j.J., 1997. Macmillan encyclopedia of chemistry. New York: Simon & Schuster and Prentice Hall International 3:1198-1201.

Lauren, 2005. Akan ada Tanaman Obat Kanker yang Mendunia. Penebar Swadaya Wisma Hijau. Bogor.

Limantara, L., P. Koehler, B. Wilhelm, R.J. Porra and H. Scheer. 2006. Photostability of Bacteriochlorophyll a and Derivatives: Potential Sensitizer for Photodinamic Tumor Theraphy. Photochemistry and Photobiology 82: 770-780.

Manggaprouw M., Rondonuwu F.S., dan Karwur F.F., 2008. Stabilitas Ekstrak Kasar Karotenoid Buah Merah Papua (Pandanus conoideus Lam.) Selama Penyinaran dalam Pelarut Aseton. Prosiding Seminar Nasional Pigmen 2008 'Sains dan Teknologi Pigmen Alami', Magister Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.

Mulyono dan Astuti, 2005. Pro & Kontra Buah Merah: Pendapat Pakar dan Praktisi. AgroMedia Pustaka. Jakarta.

Nurcahyanti A. D. R. dan Leenawaty Limantara, 2007. Fotodegradasi Ekstrak Kasar, Klorofil a, dan Fucoxanthin Padina Australis dan Dictyota Crenulata. Prosiding Seminar Nasional Pigmen 2007 'Back to Nature dengan Pigmen Alami'. Universitas Kristen Satya Wacana. Salatiga.

Rao, P.G.P., T. Jyothirmayi, K. Balaswamy, A. Satyanarayana, and D.G. Rao. 2004. Effect of Processing Conditions on The Stability of Annatto (Bixa orellana L.) Dye Incoporated Into Some Foods. Lebensm-Wiss. U.-TechnoL I (IIII): 1-6.

Sajilata and Singhal, 2006. Isolation and stabilisation of natural pigments for food application. Stewart Postharvest Review. 2006, 5:11.

Scotter, M. J., Thorpe, S. A., Reynolds, S. L., Wilson, L. A., and Strutt. 1994. Characterizations of The Principal Colouring Components of Annatto Using High

Performance Liquid Chromatography with Photodiode-Array Detection. Food Additives and Contaminants 11(3): 301-315.

Suparmi, B. Prasetyo, dan L. Limantara. 2007. Fotodegradasi Pigmen Bixin Dari Biji Kesumba (Bixa orellana L.): Potensinya Sebagai Pewarna Alami Makanan. Prosiding Seminar Nasional Pigmen 2007 'Back to Nature dengan Pigmen Alami', UKSW Salatiga, B(05): 195-204.

Suparmi, B. Prasetyo, dan L. Limantara. 2008. Kandungan dan Isolasi Pigmen Pada Selaput Biji Kesumba (Bixa orellana L.): Potensinya Sebagai Pewarna Alami Makanan. Prosiding Seminar Nasional 2008 'Pengembangan Agroindustri Berbasis Sumberdaya Lokal untuk Mendukung Ketahanan Pangan', Universitas Brawijaya, Malang, A(22):55-69.

Uripi Vera, 2005. Sari Buah Merah, Pengendali Zat Radikal Bebas. Penebar Swadaya Wisma Hijau. Bogor.

Wijaya, L.S., S.B. Widjanarko, dan Tri Susanto. 2001. Ekstraksi dan Karakterisasi Pigmen Dari Kulit Buah Rambutan (Nephelium Lappaceum) Var. BINJAI. BIOSAIN 1 (2): 42-53.

Wiles, D.M. and Carlsson, D.J. 1987. Mc Graw-Hill Encyclopedia of Science & Technology. New York: Mc Graw-Hill Book Company 13(6): 337-379.

Wiryanta, Bernard T., dan Wahyu, 2005. Keajaiban Buah Merah: Kesaksian dari Mereka Yang Tersembuhkan. AgroMedia Pustaka. Jakarta.

DEAGREGASI BAKTERIOFEOFORBID *a* DALAM PELARUT METANOL OLEH ASAM

Ani Rosiyanti[1] dan Leenawaty Limantara[1,2,*]

[1] Magister Biologi, Program Pasca Sarjana Universitas Kristen Satya Wacana
Jl. Diponegoro No. 52-60 Salatiga 50711
[2] Ma Chung Research Center, Universitas Ma Chung, Villa Puncak Tidar No. 01 Malang 65151
[*] Korespondensi Telp: 0341-550171; Email: leenawaty.limantara@machung.ac.id

Abstrak

Bakteriofeoforbid *a* adalah senyawa turunan bakterioklorofil *a* yang merupakan pigmen utama dalam proses fotosintesis pada bakteri fotosintetik. Seperti halnya klorofil, kemampuan bakterioklorofil *a* dan turunannya dalam menangkap energi cahaya menjadikan molekul tersebut berpotensi sebagai fotosensitizer dalam terapi fotodinamika. Akan tetapi secara *in vitro* bakteriofeoforbid *a* akan mudah membentuk agregat dalam pelarut metanol setelah penambahan air. Terkait sebagai fotosensitizer dalam terapi fotodinamika, terbentuknya agregat bakteriofeoforbid *a* menjadikan molekul ini kurang efektif. Oleh karena itu diperlukan upaya-upaya menghindari terjadinya proses agregasi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh asam terhadap pola spektra agregat bakteriofeoforbid *a* secara *in vitro* dalam pelarut metanol yang terbentuk setelah penambahan air. Pola spektra absorpsi "spesies deagregat" bakteriofeoforbid *a* yang terbentuk setelah penambahan asam pada agregat bakteriofeoforbid *a* telah diperoleh melalui penelitian ini dengan menggunakan Spektrofotometer Berkas Rangkap UV Tampak Varian Cary 50. Asam klorida dan asam asetat mempunyai kemampuan untuk mendeagregasi agregat bakteriofeoforbid *a* dalam metanol. Pergeseran hipsokromik pita Q_y pada pola spektra absorpsi "spesies deagregat" oleh asam asetat lebih besar daripada oleh asam klorida. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan deagregasi asam asetat lebih signifikan dibanding asam klorida.

Kata Kunci: asam, bakteriofeoforbid a, deagregasi, metanol

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar kehidupan di bumi bergantung pada produk fotosintesis. Proses fotosintesis dapat menyuplai oksigen dan senyawa-senyawa organik seperti gula dan karbohidrat yang sangat dibutuhkan makhluk hidup. Proses fotosintesis adalah proses penyulihan energi cahaya menjadi energi kimia. Proses ini terjadi pada tumbuhan hijau, alga, sianobakteri, dan bakteri fotosintetik (Ke, 2001).

Salah satu pigmen utama yang berperan dalam proses fotosintesis pada tumbuhan hijau, alga, dan sianobakteri adalah klorofil (Chl) sedangkan pada bakteri fotosintetik adalah bakterioklorofil (BChl). Seperti halnya Chl, BChl bertanggung jawab terhadap penyerapan energi cahaya kemudian memindahkannya ke pasangan khusus BChl (P) di pusat reaksi fotosintesis (Limantara dkk., 1995). BChl merupakan donor elektron utama

pada pusat reaksi fotosintesis dan transfer elektron yang terjadi merupakan fungsi temperatur dengan waktu resolusi femtodetik (Lauterwasser dkk., 1991). Berbagai jenis BChl telah berhasil diidentifikasi dan BChl *a* merupakan BChl yang paling luas distribusinya (Scheer, 2006).

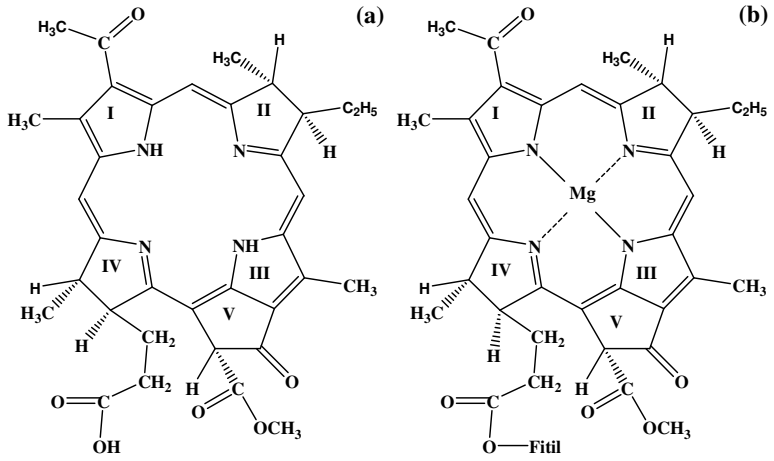
Peranan BChl sebagai pigmen fotosintesis, yang dapat menangkap energi cahaya karena memiliki kromofor pada struktur kimianya, menjadikan molekul ini berpotensi sebagai fotosensitizer generasi ketiga dalam terapi fotodinamika atau yang dikenal dengan *Photodynamic Therapy* (PDT). Pada beberapa dekade terakhir, perkembangan PDT mulai signifikan, bahkan mulai menggeser kemoterapi maupun radioterapi yang sudah lama digunakan masyarakat. PDT merupakan terapi untuk penyakit-penyakit neoplastik maupun non-neoplastik (Sibata dkk., 2000) yang biasanya adalah penyakit kanker (Nyman dan Hynninen, 2004). Ada tiga komponen yang terlibat dalam PDT yakni fotosensitizer, cahaya, dan oksigen (Lukšienė, 2003; Macdonald dan Dougherty, 2001; Nyman dan Hynninen, 2004; Sibata dkk., 2000).

Prinsip PDT yaitu meradiasi fotosensitizer menggunakan energi cahaya pada panjang gelombang tertentu, yang sebelumnya telah dimasukkan ke dalam molekul target pada pasien, sehingga fotosensitizer tereksitasi ke tahapan triplet dan berinteraksi dengan oksigen di lingkungannya untuk menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS) yang bersifat toksik terhadap molekul target (mekanisme tipe II). Selain berinteraksi dengan oksigen, fotosensitizer yang tereksitasi ke tahapan triplet juga bereaksi dengan molekul target menghasilkan suatu radikal yang juga bersifat toksik terhadap molekul target itu sendiri (mekanisme tipe I) (Calin dan Parasca, 2006). Mekanisme PDT diakhiri dengan terjadinya kematian sel target (Lukšienė, 2003). Dengan demikian fotosensitizer merupakan salah satu unsur penting dalam PDT.

Secara umum, fotosensitizer yang ideal memiliki kemurnian bahan yang tinggi, stabilitas terhadap cahaya yang baik, kecenderungan membentuk agregat pada medium yang mengandung air cukup rendah, waktu hidup tahapan triplet lama, dan produksi ROS tinggi (Agustiano dkk., 2003). Pengembangan PDT saat ini lebih mengarah pada upaya-upaya pencarian fotosensitizer ideal tersebut. Oleh karena itu, dalam rangka meningkatkan manfaat BChl dalam PDT, modifikasi struktur kimia BChl penting dilakukan untuk mendapatkan molekul turunan BChl yang berpotensi sebagai fotosensitizer ideal.

Salah satu molekul turunan BChl adalah bakteriofeoforbid *a* (BPheide *a*). BPheide *a* dapat diperoleh melalui proses eliminasi rantai fitil dan ion Mg dalam keadaan asam. Struktur kimianya terdiri atas empat cincin pirol (tetrapirol) dan satu cincin isosiklik, hampir sama dengan struktur BChl *a*, namun pada BPheide *a* tidak memiliki substituen fitil dan

inti logam Mg (Brandis dkk., 2006). Struktur BPheide *a* dapat dilihat pada **Gambar 1** dengan struktur BChl *a* sebagai pembanding.



Gambar 1. Struktur kimia (a) BPheide *a* dan (b) BChl *a*

Terkait potensi BPheide *a* sebagai fotosensitizer, Pandey dkk. (1992) telah menentukan struktur dan aktivitas antitumor molekul tersebut secara *in vivo*. Penelitian secara *in vitro* dilakukan Limantara dkk. (2006) mengenai fotostabilitas BPheide *a.* Penentuan energi tahapan dasar, singlet, dan triplet etil bakteriofeoforbide *a* (Et-BPheide *a*) menggunakan perhitungan interaksi konfigurasi (CI) telah dilakukan oleh Petke dkk. (1980).

Kerusakan tumor akan sangat efisien ketika menggunakan fotosensitizer yang mempunyai waktu hidup tahapan triplet yang lama (Lukšienė, 2003; Agustiano dkk., 2003). Sementara salah satu hal yang mempengaruhi waktu hidup tahapan triplet adalah proses agregasi fotosensitizer. Agregasi dapat memperpendek waktu hidup tahapan triplet dan menurunkan produksi singlet oksigen (Macdonald dan Dougherty, 2001). Fotosensitizer yang teragregasi secara *in vivo* dianggap merupakan fotosensitizer yang kurang efektif. Oleh karena itu diperlukan upaya-upaya menghindari terjadinya agregasi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh asam terhadap agregat BPheide *a* secara *in vitro* dalam pelarut metanol yang terbentuk setelah penambahan air.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan

Pigmen yang digunakan adalah BPheide *a* murni, diperoleh dari laboratorium Ludwig-Maximillian Munich, Jerman, tanpa dilakukan proses pemurnian lagi. Bahan kimia

yang digunakan antara lain: metanol (kualitas PA, MERCK), asam klorida (HCl kualitas PA, MERCK), asam asetat (CH_3COOH kualitas PA, MERCK), dan akuades.

2.2. Metode

2.2.1. Persiapan larutan monomer BPheide *a*

Larutan induk/monomer dibuat dengan melarutkan BPheide *a* dalam pelarut metanol yang disetarakan Qy absorbansi maksimumnya ≈1. Pola spektra monomer BPheide *a* diukur menggunakan Spektrofotometer Berkas Rangkap UV-Tampak Varian Cary 50, pada panjang gelombang 300-1100 nm.

2.2.2. Persiapan larutan agregat BPheide *a*

Akuades (0,25; 0,5; 0,75; 1, dan 1,25 ml) ditambahkan ke dalam larutan induk pigmen, hingga volume total larutan ≈2,5 ml pada masing-masing perlakuan. Pengukuran pola spektra agregat dilakukan sebelum dan sesaat setelah pencampuran menggunakan Spektrofotometer Berkas Rangkap UV-Tampak Varian Cary 50 pada panjang gelombang 300-1100 nm. Data agregasi diambil berdasarkan data pada setiap variasi perlakuan.

2.2.3. Perlakuan deagregasi BPheide *a*

Larutan induk/monomer dan semua larutan agregat BPheide *a* masing-masing sebanyak 2,5 ml ditambahkan asam klorida (HCl) atau asam asetat (CH_3COOH) sebanyak 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; dan 1,75 ml kemudian larutan dihomogenkan. Pola spektra larutan diukur pada setiap penambahan asam dengan Spektrofotometer Berkas Rangkap UV-Tampak Varian Cary 50 pada panjang gelombang 300-1100 nm.

2.2.4. Analisis Data

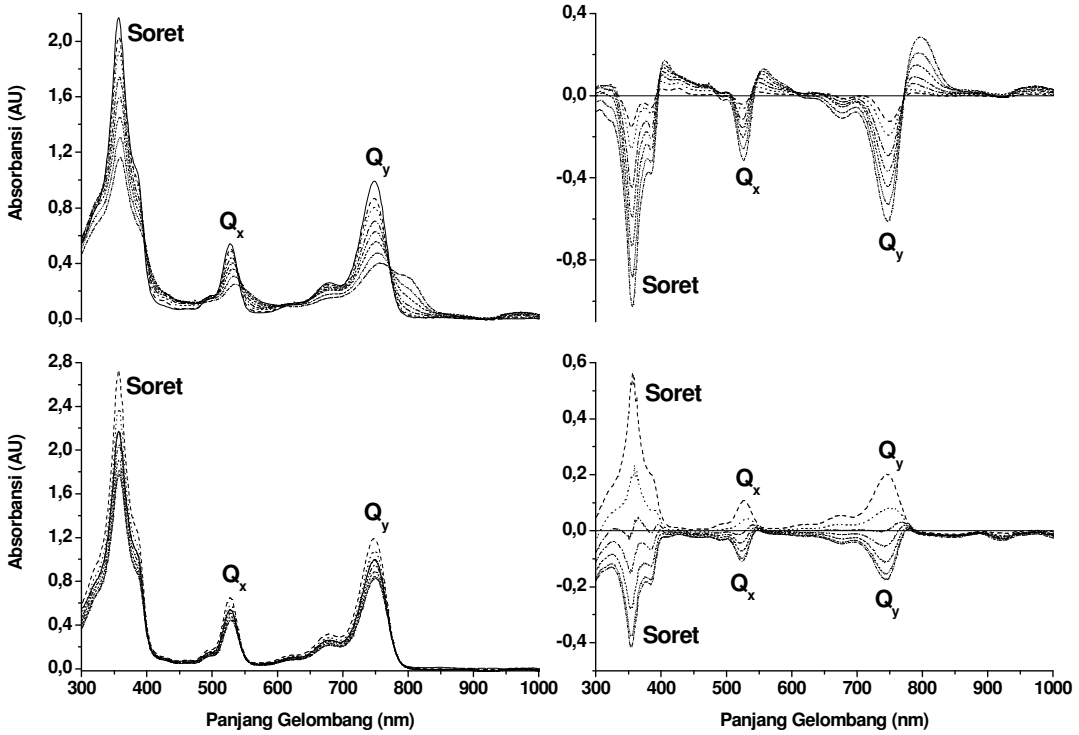
Data dianalisis menggunakan program origin 6.1 dan ditampilkan secara deskriptif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Asam terhadap Pola Spektra Monomer BPheide *a* dalam Metanol

Pola spektra monomer BPheide *a* dalam pelarut metanol terdiri atas tiga pita utama yakni pita soret, Q_x, dan Q_y yang secara berurutan mempunyai tingkat energi tertinggi hingga terendah dengan panjang gelombang masing-masing pita 357, 527, dan 748 nm yang dapat dilihat pada **Tabel 1**. Pita Q_y dan Q_x merupakan label transisi elektronik dari tahapan dasar (S_0) ke tahapan singlet pertama (S_1) dan singlet kedua (S_2) secara berurutan, sedangkan pita soret merupakan tumpang tindih serapan antara pita Q_y dan pita Q_x (Hoff dan Amesz, 1991). Pada saat monomer BPheide *a* ditambahkan asam, baik HCl maupun CH_3COOH, pola spektra monomer BPheide *a* menunjukkan perubahan baik

pada pita soret, Q_x, maupun Q_y sejak awal penambahan asam sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Pola spektra deagregasi (kiri) dan perbedaan spektra (kanan) monomer BPheide *a* dalam pelarut metanol dengan penambahan HCl (atas) dan CH_3COOH (bawah) sebanyak (——) 0 ml; (— — —) 0,25 ml; (. . . .) 0,5 ml; (— . — . —) 0,75 ml; (— .. — ..) 1 ml ; (- - - -) 1,25 ml; (.....) 1,5 ml; dan (.....) 1,75 ml.

Berdasarkan **Gambar 2** secara umum pola spektra absorpsi yang ditampilkan cenderung terjadi penurunan absorbansi (hipokromik) dan pergeseran panjang gelombang ke arah merah (batokromik) di ketiga pita seiring dengan kenaikan volume asam dalam larutan yang secara terperinci dapat dilihat pada **Tabel 1**. Kekuatan asam memberikan hasil yang berbeda pada pola spektra absorpsi monomer BPheide *a*. Penambahan HCl (asam kuat) menyebabkan pergeseran batokromik lebih signifikan dibanding penambahan CH_3COOH (asam lemah). Namun demikian, berbeda dengan penambahan HCl, pada penambahan CH_3COOH sebanyak 0,25 ml dalam larutan menyebabkan kenaikan absorbansi (hiperkromik) larutan sehingga terdapat spektra yang positif pada perbedaan spektra seperti yang terlihat pada **Gambar 2**.

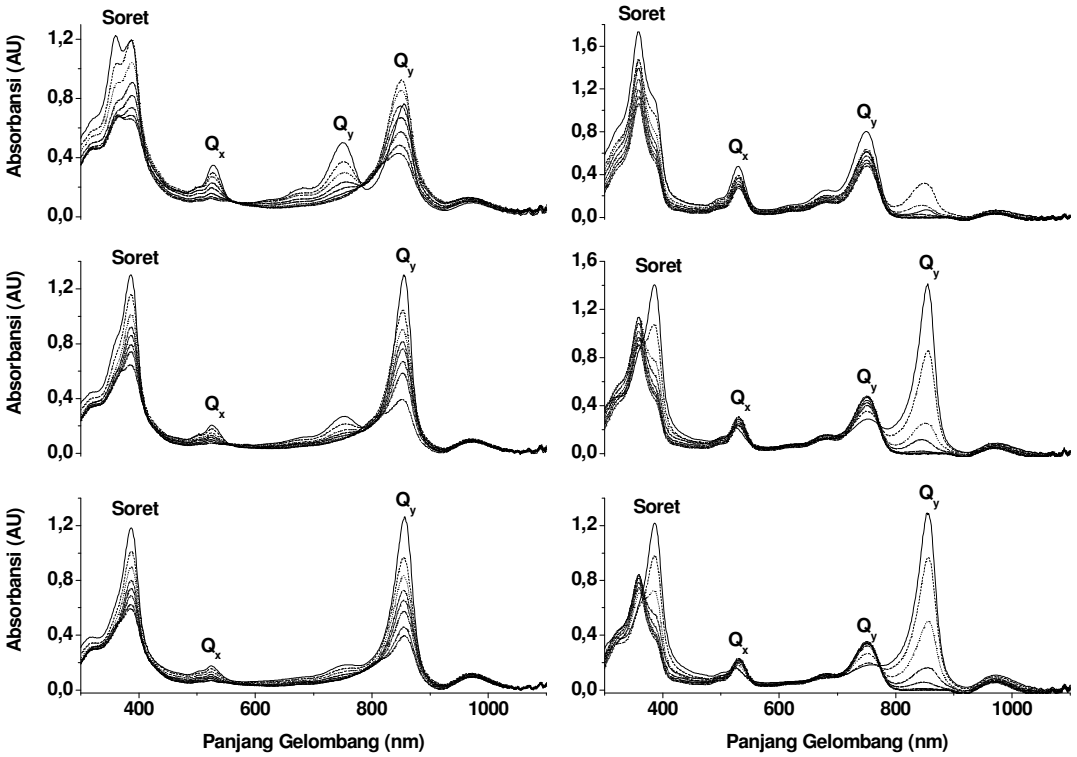
Tabel 1. Panjang gelombang (nm) pita Q_y, Q_x, dan soret monomer BPheide *a* dalam pelarut metanol setelah penambahan asam

Penambahan Asam (ml)	λ (nm)					
	HCl			CH_3COOH		
	Q_y	Q_x	Soret	Q_y	Q_x	Soret
0	748,0	527,0	357,0	748,0	527,0	357,0
0,25	748,0	527,9	357,0	749,0	527,0	355,9
0,5	748,0	529,0	357,0	749,0	527,9	357,0
0,75	750,0	529,9	359,0	750,0	527,9	357,0
1	750,0	530,9	359,0	749,0	527,9	357,0
1,25	751,9	532,0	359,0	750,0	529,0	357,0
1,5	752,9	532,9	359,0	750,0	529,0	357,0
1,75	755,9	535,0	359,0	750,0	529,0	357,0

CH_3COOH akan bereaksi dengan metanol membentuk metil asetat yakni suatu ester asam karboksilat hasil reaksi esterifikasi tersebut. Kemungkinan, metil asetat sedikit berpengaruh terhadap dua ion hidrogen pada pusat cincin BPheide *a* sehingga menyebabkan terjadinya pergeseran hiperkromik. Schanderl dkk. (1962) menyebutkan bahwa perubahan panjang rantai alkohol teresterifikasi dengan asam propionat sedikit berpengaruh terhadap dua ion hidrogen yang menggantikan ion Mg di pusat cincin porfirin. Sedangkan reaksi antara HCl dengan metanol akan menghasilkan metil klorida dan air dengan senyawa intermediet berupa ion oksonium yakni molekul alkohol berproton (Fessenden dan Fessenden, 1982). Adanya air akan menyebabkan konsentrasi pigmen dalam larutan menurun sehingga pada pola spektra terjadi pergeseran hipokromik yang cukup signifikan seperti terlihat pada **Gambar 2**.

3.2. Deagregasi Agregat BPheide *a* dalam Metanol oleh Asam

BPheide *a* dalam pelarut metanol akan mengalami proses agregasi setelah ditambah dengan air (Rosiyanti dan Limantara, 2008). Proses agregasi akan menyebabkan pergeseran batokromik pada pola spektra absorpsinya. Menurut Rosiyanti dan Limantara (2008), produk agregat BPheide *a* dalam metanol terbentuk ketika volume air yang ditambahkan sebanyak 0,75 ml hingga 1,25 ml dari 2,5 ml volume total larutan pigmen. Apabila BPheide *a* yang telah mengalami agregasi ditambah dengan asam (HCl atau CH_3COOH) maka akan terjadi perubahan pola spektra yang dapat dilihat pada **Gambar 3**. Pada **Gambar 3**, **Agregat 1** merupakan campuran antara 1,75 ml larutan BPheide *a* dalam metanol dan 0,75 ml air, **Agregat 2** merupakan campuran antara 1,5 ml larutan BPheide *a* dalam metanol dan 1 ml air, sedangkan **Agregat 3** merupakan campuran antara 1,25 ml larutan BPheide *a* dalam metanol dan 1,25 ml air.



Gambar 3. Pola spektra deagregasi Agregat 1 (atas); Agregat 2 (tengah); Agregat 3 (bawah) dalam pelarut metanol dengan penambahan HCl (kiri) dan CH_3COOH (kanan) sebanyak (——) 0 ml; (— — —) 0,25 ml; (. . . .) 0,5 ml; (— . — . —) 0,75 ml; (— .. —..) 1 ml ; (- - - -) 1,25 ml; (.....) 1,5 ml; dan (.....) 1,75 ml.

Penambahan HCl maupun CH_3COOH pada agregat BPheide *a* dalam metanol memberikan hasil yang secara kualitatif hampir sama, yakni terjadinya pergeseran hipokromik dan hipsokromik pada pita Q_y. Hal ini menandakan terjadinya proses deagregasi pada agregat BPheide *a* dalam metanol. Proses deagregasi merupakan proses berubahnya agregat menjadi bentuk monomer atau dimer (Brody dan Nathanson, 1972; Krasnovsky, 1972). Krasnovsky (1972) dan Limantara dkk. (2006) menyatakan bahwa karakteristik kerusakan agregat pigmen ditandai dengan terjadinya proses hipsokromik (deagregasi).

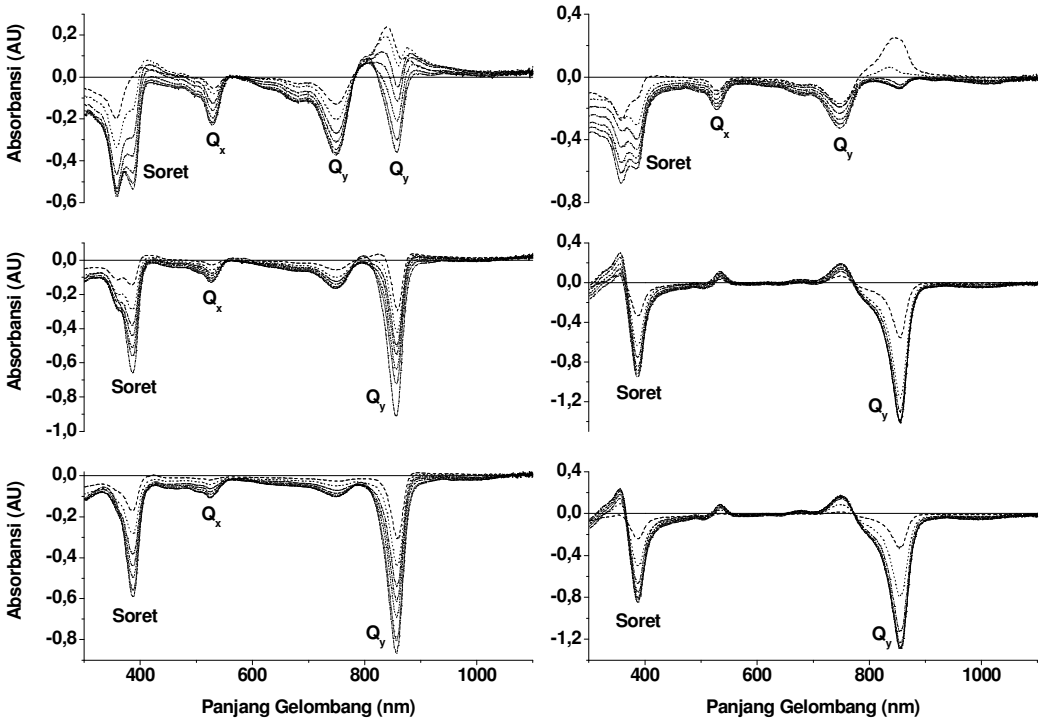
Tabel 2. Panjang gelombang (nm) pita Q_y, Q_x, dan soret agregat BPheide *a* dalam pelarut metanol setelah penambahan HCl

Penambahan Asam (ml)	Agregat 1				Agregat 2			Agregat 3		
	Q_y	Q_x	Soret		Q_y	Q_x	Soret	Q_y	Q_x	Soret
			B_1	B_2						
0	855,0	527,0	359,9	386,9	855,0	524,9	386,0	857,0	524,0	386,0
0,25	850,9	526,0	362,9	386,9	852,9	524,9	386,0	855,0	524,0	386,9
0,5	849,9	526,0	362,9	388,0	852,9	524,0	386,0	854,0	524,0	386,9
0,75	849,0	526,0	-	389,0	852,0	524,0	386,0	854,0	524,0	386,0
1	850,9	524,0	-	389,0	852,9	524,0	386,0	854,0	524,0	386,0
1,25	849,9	524,0	-	386,9	854,0	522,9	386,0	854,0	524,0	386,0
1,5	847,0	522,9	364,9	386,0	852,9	522,9	386,0	855,0	522,9	386,0
1,75	846,0	522,9	362,9	382,9	850,9	524,0	384,9	855,9	524,0	384,9

Tabel 3. Panjang gelombang (nm) pita Q_y, Q_x, dan soret agregat BPheide *a* dalam pelarut metanol setelah penambahan CH_3COOH

Penambahan Asam (ml)	Agregat 1			Agregat 2			Agregat 3		
	Q_y	Q_x	Soret	Q_y	Q_x	Soret	Q_y	Q_x	Soret
0	749,0	529,9	359,0	855,0	524,9	386,0	854,0	524,0	386,0
0,25	749,0	529,0	359,0	855,0	527,9	384,9	855,9	526,0	386,0
0,5	750,9	529,9	357,9	749,0	529,9	359,0	855,9	529,9	384,0
0,75	750,0	529,9	357,9	750,9	530,9	359,0	749,0	530,9	359,0
1	750,9	529,9	359,0	750,0	530,9	359,0	750,9	530,9	359,0
1,25	750,0	529,9	359,0	751,9	530,9	359,0	751,9	530,9	357,9
1,5	750,0	530,9	359,0	750,9	530,9	359,0	750,9	530,9	359,0
1,75	750,9	530,9	359,0	751,9	530,9	359,0	750,9	529,9	357,9

Berdasarkan **Gambar 3, Tabel 2,** dan **Tabel 3** dapat diketahui bahwa penambahan HCl menyebabkan pita Q_y pada pola spektra mengalami pergeseran hipsokromik. Namun demikian, pergeseran hipsokromik pada pita Q_y lebih signifikan terjadi ketika penambahan CH_3COOH pada agregat BPheide *a* dalam metanol yakni sebesar 103,1 nm khususnya pada **Agregat 3**. Hal ini menandakan bahwa larutan agregat BPheide *a* dalam metanol setelah penambahan CH_3COOH mengalami proses deagregasi yang lebih signifikan dibanding penambahan HCl. Namun, proses deagregasi tersebut tidak sampai membentuk produk baru. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 4,** bahwa tidak ada pola spektra yang menandakan adanya produk baru.



Gambar 4. Perbedaan spektra deagregasi Agregat 1 (atas); Agregat 2 (tengah); dan Agregat 3 (bawah) dalam pelarut metanol dengan penambahan HCl (kiri) dan CH_3COOH (kanan) sebanyak (——) 0 ml; (— —) 0,25 ml; (. . . .) 0,5 ml; (— — —) 0,75 ml; (—.. —..) 1 ml ; (- - - -) 1,25 ml; (.....) 1,5 ml; dan (.....) 1,75 ml.

Ketiadaan produk baru pada proses deagregasi tersebut dihubungkan dengan kestabilan BPheide *a* yang sangat tinggi dalam pelarut metanol. Limantara dkk. (2006) menyebutkan bahwa BPheide *a* dalam metanol sangat stabil bahkan lebih stabil dibandingkan BChl dalam pelarut yang sama. Kestabilan dapat diketahui setelah BPheide *a* dan BChl diiradiasi dengan sinar merah ($\lambda \geq 630$ nm). Persentase absorbansi Q_y pada BPheide *a* setelah diiradiasi selama 0,5 menit, 1 menit, dan 3 menit secara berturut-turut adalah 100, 99, dan 98% sedangkan pada BChl adalah 21, 10, dan 8%.

Terjadinya perubahan pola spektra absorpsi pada agregat BPheide *a* dalam pelarut metanol, yang menandakan terjadinya proses deagregasi, kemungkinan disebabkan oleh aksi langsung pada kromofor BPheide *a*. Sebagaimana yang terjadi pada proses deagregasi Chl dalam larutan baik oleh etanol maupun asam linolenat (Brody dan Nathanson, 1972). Pendugaan ini tentunya perlu didukung data-data dengan menggunakan spektroskopi yang berbeda tidak hanya dengan spektroskopi absorpsi.

4. KESIMPULAN DAN PROSPEK

HCl dan CH_3COOH mempunyai kemampuan untuk mendeagregasi agregat BPheide *a* dalam metanol yang terbentuk setelah penambahan air. Kemampuan deagregasi CH_3COOH lebih signifikan dibanding HCl.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai proses deagregasi agregat BPheide *a* oleh HCl dan CH_3COOH menggunakan spektroskopi CD dan IR untuk memperkuat data penelitian ini. Data spektroskopi NMR juga sangat diperlukan untuk mengetahui struktur BPheide *a* setelah mengalami proses agregasi dan deagregasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

AR mengucapkan terimakasih kepada Biro Perencanaan dan Kerjasama Luar Negeri (BPKLN) DEPDIKNAS RI selaku pemberi beasiswa melalui program Beasiswa Unggulan Persemaian Insan Indonesia Cerdas (BU/PIIC) DEPDIKNAS RI tahun 2006-2008 yang bekerjasama dengan Magister Biologi Universitas Kristen Satya Wacana (UKSW) Salatiga. Pengadaan BPheide *a* diperoleh dari dana Program Insentif Dasar Kementerian Negara Riset dan Teknologi No: 27/RD/Insentif/PPK/II/2008 kepada L. Limantara.

DAFTAR PUSTAKA

Agostiano A, Catucci L, Cosma P, dan Fini P. 2003. *Aggregation Processes and Photophysical Properties of Chlorophyll a in Aqueous Solutions Modulated by The Presence of Cyclodextrins.* Phys. Chem. Chem. Phys. 5: 2122-2128.

Brandis AS, Salomon Y, dan Scherz A. 2006. Bacteriochlorophyll Sensitizers in Photodynamic Therapy. Di dalam: Grimm B, Porra RJ, Rudiger W, dan Scheer H. (eds) Chlorophylls and Bacteriochlorophylls: Biochemistry, Biophysics, Functions and Applications. Vol 25, Dordrecht: Springer. Hlm 485-494.

Brody M dan Nathanson B. 1972. Direct and Indirect Mechanisms of Deaggregation by Fatty Acids in Chlorophyll-Containing System. Biophys. J. 12:774-790.

Calin MA dan Parasca SV. 2006. Photodynamic Therapy in Oncology. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials 8 (3): 1173-1179.

Fessenden RJ & Fessenden JS. 1982. Kimia Organik. Edisi ketiga Jilid 1. Jakarta: Erlangga.

Hoff AJ dan Amesz J. 1991. Visible Absorption Spectroscopy. Di dalam: Scheer H. (eds) Chlorophylls. Boca Raton: CRC Press. Hlm 723-738.

Ke B. 2001. Photosynthesis: Photobiochemistry and Photobiophysics. Volume 10. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Krasnovsky AA. 1972. The Fragment of the Photosynthetic Electron Transfer Chain in Model Systems. Biophys. J. 12: 749-763.

Lauterwasser C, Finkele U, Scheer H, dan Zinth W. 1991. Temperature Dependence of the Primary Electron Transfer in Photosynthetic Reaction Center from Rhodobacter sphaeroides. Chem. Phys. Lett. 183 (6): 471-477.

Limantara L, Koehler P, Wilhelm B, Porra RJ, dan Scheer H. 2006. Photostability of Bacteriochlorophyll a and Derivatives: Potential Sensitizers for Photodynamic Tumor Therapy. Photochem. Photobiol. 82: 770-780.

Limantara L, Kurimoto Y, Furukawa K, Shimamura T, Utsumi H, Katheder I, Scheer H, dan Koyama Y. 1995. The Environment of the Four Nitrogen Atoms of Bacteriochlorophyll a in Solutions as Revealed by 15N NMR Spectroscopy. Chem. Phys. Lett 236: 71-77.

Lukšienė Ž. 2003. Photodynamic Therapy: Mechanism of Action and Ways to Improve the Efficiency of Treatment. Medicina 39 (12): 1137-1150.

Macdonald IJ dan Dougherty TJ. 2001. Basic Principles of Photodynamic Therapy. Journal of Porphyrins and Phthalocyanines 5: 105-129.

Nyman ES dan Hynninen PH. 2004. Research Advances in the Use of Tetrapyrrolic Photosensitizers for Photodynamic Therapy. J. Photochem. Photobiol. B: Biology 73: 1-28.

Pandey RK, Shiau Fuu – Yau, Sumlin AB, Dougherty TJ, dan Smith KM. 1992. Structure/activity Relationships Among Photosensitizers Related to Pheophorbides and Bacteriopheophorbides. Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters 2 (5): 491-496.

Petke JD, Maggiora GM, Shipman IL, dan Christoffersen RE. 1980. Stereoelectronic Properties of the Photosynthetic and Related System – VI. Ab. Initio Configuration Interaction Calculation on the Ground and Lower Excited Singlet and Triplet States of Ethyl Bacteriochlorophyllide- a and Ethyl Bacteriopheophorbide- a. Photochem. Photobiol. 32: 399-414.

Rosiyanti A dan Limantara L. 2008. Agregasi Bakteriofeoforbid a dalam Pelarut Aseton dan Metanol. Prosiding Seminar Nasional Pigmen 2008 "Sains dan Teknologi Pigmen Alami". Salatiga 5 September 2008. ISBN: 979-1098-16-4.

Schanderl SH, Chichester CO, dan Marsh GL 1962. Degradation of Chlorophyll and Several Derivatives in Acid Solution. Org. Chem. 7: 3865-3868.

Scheer H. 2006. An Overview of Chlorophylls and Bacteriochlorophylls: Biochemistry, Biophysics, Functions and Applications. Di dalam: Grimm B, Porra RJ, Rudiger W, dan Scheer H. Chlorophylls and Bacteriochlorophylls: Biochemistry, Biophysics, Functions and Applications Vol 25, Dordrecht: Springer. Hlm 1-26.

Sibata CH, Colussi VC, Oleinick NL, dan Kinsella TJ. 2000. Photodynamic Therapy: A New Concept in Medical Treatment. Brazillian Journal of Medical and Biological Research 33: 869-880.

PENGGUNAAN BAHAN ORGANIK TANAH SEBAGAI SUMBER INOKULUM DALAM MENGATASI LAHAN TERCEMAR LUMPUR MINYAK

Fahruddin

Jurusan Biologi, Fakultas MIPA UNHAS, Tamalanrea, Makassar.
email:f_udin@yahoo.com, fax: 0411-588551

Abstrak

Lumpur minyak merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi, jika tidak ditanggulangi dapat mencemari tanah termasuk lahan pertanian dan mencemari air tanah. Untuk menangani pencemaran lumpur minyak yang baik dan ramah lingkungan adalah melalui proses biodegradasi yaitu menggunakan bahan organik tanak sebagai sumber inokulum. Setiap jenis tanah memiliki kandungan bahan organik yang berbeda dan berpengaruh terhadap besarnya populasi dan keragaman mikroba. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menentukan jenis bahan organik tanah yang mampu meningkatkan kecepatan biodegradasi lumpur minyak pada tanah yang tercemar. Jenis sumber inokulum yang digunakan adalah tanah hutan dan tanah bakau. Kedua sumber inokulum tersebut ditentukan kandungan C-organik, N-total, P-total dan kadar lengasnya. Perlakuan dibuat dalam mikrokosmos lahan yang tercemar lumpur minyak dan diinkubasi selama 12 minggu. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penambahan sumber inokulum meningkatkan proses biodegradasi, yang ditandai dengan peningkatan produksi CO_2. Penurunan total hidrokarbon yang paling banyak terjadi adalah perlakuan menggunakan tanah hutan dibandingkan dengan tanah bakau. Fraksi hidrokarbon yang paling cepat mengalami biodegradasi adalah fraksi alifatik pada tanah bakau, fraksi aromatik hanya sedikit mengalami biodegradasi pada kedua perlakuan, sedangkan pada fraksi asphaltik cenderung mengalami peningkatan selama biodegradasi.

Kata kunci : biodegradasi, sumber inokulum, lumpur minyak

1. PENDAHULUAN

Dalam produksi minyak bumi dan penggunaannya dalam berbagai di sektor industri, terkadang menghasilkan buangan sebagai limbah yang dapat mencemari lingkungan. Salah satu limbah minyak bumi yang dihasilkan dari industri pengilangan minyak adalah lumpur minyak. Lumpur minyak merupakan hasil samping dari proses pengolahan minyak bumi secara intermiten, seperti pada pengilangan minyak bumi dan industri petrokimia. Pada sistem-sistem pengolahan limbah yang efektif, kualitas limbah dapat ditingkatkan tetapi juga menghasilkan lumpur minyak yang menimbulkan masalah baru dalam pembuangan (Bossert dan Compaeau, 1996). Industri pengilangan minyak dalam kapasitas produksi 2.8 juta barrel per bulan mampu menghasilkan lumpur minyak 10.000 barrel per tahun (Pertamina, 1993).

Dalam skala besar, lumpur minyak merupakan sumber pencemar yang potensial. Pencemaran ini dapat terjadi pada lingkungan tanah, air, sedimen dan juga pada air tanah. Hal ini dapat membahayakan lingkungan bahkan dapat mengganggu kesehatan manusia. Menurut Cerniglia (1981), adanya komponen hidrokarbon polinuklear seperti benzena, toluena, etilbenzena, dan isomer xilena pada lumpur minyak selain bersifat rekalsitran terhadap biodegradasi, juga bersifat karsinogenik.

Untuk mengatasi masalah pencemaran minyak bumi, beberapa metode telah diterapkan, yaitu metode pembakaran dan metode kimia. Secara fisik, misalnya dengan penjaringan lapisan minyak yang mengapung, tentunya memerlukan peralatan, apabila jumlah limbah minyak meliputi jutaan ton, tentunya akan tidak efisien. Secara kimia, tumpahan minyak diperlakukan dengan penggunaan senyawa dispersan atau surfaktan sintetik. Namun metode-metode tersebut masih memberikan dampak negatif terhadap lingkungan serta masih memerlukan biaya pengoperasian yang mahal. Biodegradasi yaitu perombakan secara biologis melalui aktifitas mikroba, adalah alternatif yang baik untuk pengolahan pencemaran lumpur minyak yang lebih akrab lingkungan (Alexander, 1994). Menurut Goldstein (1985) metode *landfarming* merupakan salah satu cara bioremediasi yang telah dikembangkan yang mengandalkan biodegradasi dengan menggunakan tanah sebagai sumber inokulum.

2. BAHAN DAN CARA KERJA

2.1. Bahan

Lumpur minyak dari tangki penyimpanan lumpur minyak Pertamina UP V Balikpapan. Sumber inokulum berupa tanah bakau, tanah gambut, tanah hutan, dan kompos sampah.

2.2. Metode Kerja

Bahan sumber inokulum dan lumpur minyak dilakukan analisis pendahuluan yang meliputi : analisis C-organik metode Walkey dan Black (Black *et al.* 1965), analisis N total metode micro kjehdahl (Prawirowardoyo *et al.* 1097), analisis P-total menggunakan metode Bray Kurtz (Prawirowardoyo *et al.* 1987) dan penentuan kadar lengas (Prawirowardoyo *et al.* 1987). Kemudian setiap sumber inokulum diperlakukan pada lumpur minyak dengan perbandingan 1 : 1 berdasarkan kandungan C organiknya. Untuk optimasi kondisi pada proses biodegradasi, kapasitas menahan air diatur agar mencapai kadar air 90% dan nisbah C : N : P diatur sebesar 360 : 60 : 1 dengan menambahkan sumber N dan P masing–masing dari NH_4NO_3 dan KH_2HPO_4. Masing–masing perlakuan penambahan sumber inokulum ditimbang 75 g dimasukkan pada gelas piala dan

selanjutnya dimasukkan ke dalam wadah tertutup. Setiap wadah terdapat gelas piala dan selanjutnya dimasukkan ke dalam wadah tertutup. Setiap wadah terdapat gelas piala yang berisi larutan NaOH 0,2 N untuk penentuan evolusi CO_2. Selanjutnya inkubasi selama 12 minggu.

Selama masa inkubasi, evolusi CO_2 diukur setiap 3 hari dengan mentitrasi asam oksalat pada NaOH yang terdapat dalam wadah. Analisis residu total hidrokarbon ditentukan dengan menggunakan pelarut dietileter pada ekstraktor soxhlet dan analisis fraksi-fraksi hidrokarbon yang terdiri dari alifatik, aromatik, dan asphaltik ditentukan dengan menggunakan khromotografi kolom alumina gel dilakukan setiap empat minggu masing–masing menggunakan pelarut hexana, benzena dan metanol : kloroform 1 : 1 (v/v).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi kasus ini mempelajari penggunaan empat jenis sumber inokulum untuk mempercepat biodegradasi lumpur minyak. Jenis bahan organik tanah sebagai sumber inokulum yang digunakan adalah tanah hutan, sedimen bakau, tanah gambut, dan kompos. Keempat jenis bahan organik tanah tersebut dilakukan analisi pendahuluan yang meliputi analisis karbon organik, total fosfor, total nitrogen, dan kadar lengas (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil analisis pendahuluan pada sumber inokulum

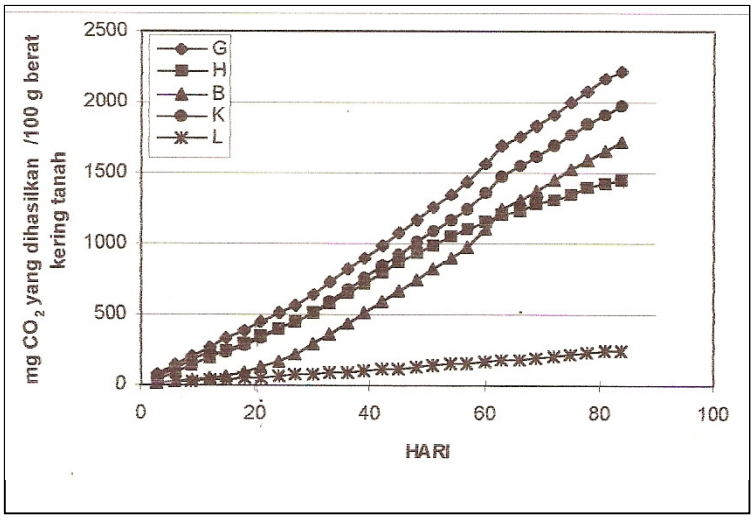
Jenis Tanah	C-organik (%)	P-total (%)	N-total (%)	Kadar lengas
Sedimen bakau	31,94	0,14	0,26	15,44
Tanah gambut	72.22	0,14	1,24	116,36
Tanah hutan	34,65	0,03	0,13	15,47
Kompos	26,68	0,08	0,45	8,69

Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengoptimalkan kondisi bagi proses biodegradasi hidrokarbon lumpur minyak. Penambahan setiap sumber inokulum pada lumpur minyak berdasarkan perbandingan kandungan kadar C-organik antara sumber inokulum dengan lumpur minyak 1:1. Selanjutnya masing–masing perlakuan hasil penambahan tersebut ditentukan kadar airnya. Untuk mendapatkan nisbah C:N:P sebesar 360 : 60 : 1 pada masing–masing perlakuan ditambahkan NH_4NO_3 sebagai sumber nitrogen dan K_2HPO_4 sebagai sumber fosfor.

3.1. Penghasilan Gas CO_2

Dari hasil pengamatan evolusi CO_2 (Gambar 1) menunjukkan perlakuan dengan penambahan tanah gambut selalu menunjukkan penghasilan CO_2 lebih tinggi, disusul pada perlakuan sumber inokulum dari kompos dan tanah hutan. Perlakuan dengan

penambahan sumber inokulum dari tanah bakau menunjukkan pelepasan CO_2 lebih tinggi dibandingkan kontrol dan meningkat tajam melebihi perlakuan dengan penambahan tanah hutan mulai pada hari ke-62. Diantara semua perlakuan, penghasilan CO_2 yang paling tinggi berturut–turut dijumpai pada perlakuan dengan penambahan sumber inokulum dari tanah gambut, kompos, tanah hutan, dan kemudian tanah bakau. Sedangkan gas CO_2 yang terbentuk pada kontrol, kemungkinan disebabkan oleh adanya mikroba yang terdapat dalam lumpur minyak melakukan aktifitas perombakan hidrokarbon.



Gambar 1. Evolusi CO_2 pada perlakuan lumpur minyak bumi dengan penambahan tanah hutan (H), tanah gambut (G), tanah bakau (B), kompos (B) dan kontrol (L)

Menurut Rosenberg dan Ron (1998). Proses mineralisasi komponen organik yang terkandung dalam sumber inokulum, dilakukan oleh mikroba akan menghasilkan gas CO_2. Laju CO_2 yang dihasilkan tersebut bervariasi tergantung pada sumber inokulum yang ditambahkan. Sumber inokulum yang berbeda mengandung jumlah dan jenis mikroba yang berbeda. Disamping itu komposisi bahan organik juga berbeda. Senyawa organik yang lebih sederhana akan dirombak lebih cepat. Perbedaan penambahan sumber inokulum tersebut berpengaruh terhadap mineralisasi hidrokarbon, sehingga tampak dari setiap jenis penambahan sumber inokulum memberikan perbedaan peningkatan evolusi CO_2.

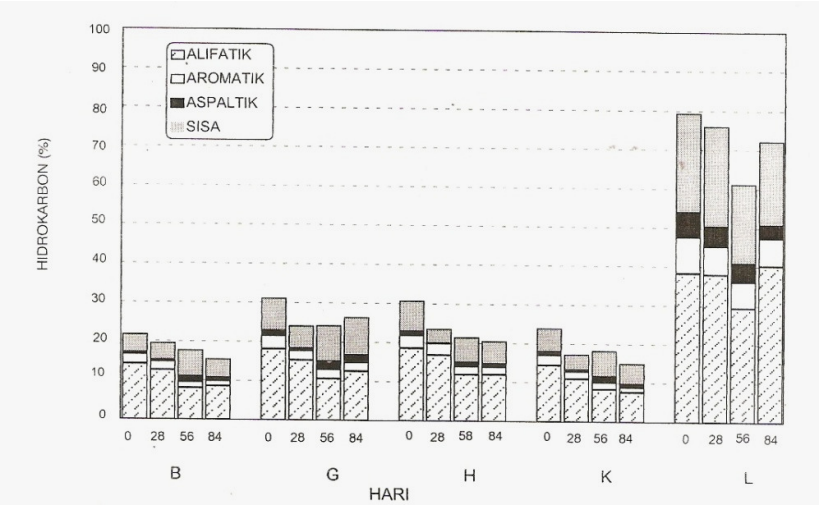
3.2. Residu Total dan Fraksi – Fraksi Hidrokarbon Lumpur Minyak

Residu total hidrokarbon lumpur minyak pada semua perlakuan menunjukkan adanya penurunan (Gambar 2). Penurunan paling besar terjadi pada hari ke-28, kemudian pada hari ke-84 penurunan residu total hidrokarbon relatif sedikit. Bila

dihubungkan jumlah mikroba pendegradasi hidrokarbon pada hari ke-28 memperlihatkan pertumbuhan yang relatif masih sedikit. Penurunan residu total hidrokarbon disebabkan oleh mineralisasi yang tidak mendukung pertumbuhan sel. Mineralisasi hidrokarbon tidak selalu mendukung pertumbuhan sel mikroba, karena banyaknya mikroba yang melakukan kometabolisme hidrokarbon yang tidak menggunakan hidrokarbon lumpur minyak sebagai sumber energi dan karbon untuk pertumbuhan. Kemungkinan lain adalah adanya proses abiotik melalui volatilisasi yang terjadi lebih cepat setelah penambahan tanah pada media biodegradasi minyak bumi (Cerniglia,1981)

Secara kuantitatif, jumlah hidrokarbon yang berubah tidak banyak. Akan tetapi secara kualitatif mungkin terjadi perombakan yang tidak sempurna pada tahap tertentu, akan menghasilkan perubahan struktur kimia fraksi hidrokarbon lumpur minyak. Pada perombakan seperti ini, terjadi akumulasi senyawa intermediat yang menyebabkan pertumbuhan mikroba dapat terhambat (Dibble dan Bartha. 1979). Hal ini didukung hasil penelitian adanya penurunan jumlah mikroba pendegradasi pada semua perlakuan pada hari ke-84, kecuali pada perlakuan dengan penambahan kompos.

Komposisi hidrokarbon yang terkandung dalam lumpur minyak terdiri dari 57% hidrokarbon alifatik, 29% hidrokarbon aromatik, dan 14% hidrokarbon asphaltik, sedangkan sisanya berupa komponen non hidrokarbon seperti asam naftenat, nitrogen heterosiklik, senyawa sulfur, dan berbagai fenol dan thiol serta bahan–bahan organik lain. Komposisi tersebut sesuai dengan hasil penelitian fraksi–fraksi hidrokarbon lumpur minyak yang diperoleh menunjukkan berturut-turut dari yang paling tinggi pada alifatik, aromatik dan asphaltik (Crawford, 1996; Glazer dan Nikaido. 1994).



Gambar 2. Perubahan residu total hidrokarbon dan fraksi – fraksinya selama inkubasi pada perlakuan lumpur minyak dengan tanah hutan (H), tanah gambut (G), tanah bakau (B), kompos (K) dan kontrol (L).

Dapat dijelaskan pula, bahwa fraksi alifatik yang merupakan hidrokarbon jenuh dengan berat molekul kecil, berdasarkan struktur molekulnya lebih mudah dan lebih cepat mengalami biodegradasi dibandingkan dengan fraksi aromatik yang berupa senyawa dengan struktur molekul berbentuk cincin, bersifat tahan terhadap biodegradasi. Menurut Mueller (1996), fraksi aromatik masih dapat mengalami biodegradasi walaupun sangat lambat atau terjadi secara parsial, yaitu melalui proses kometabolisme yang menghasilkan senyawa intermediat berupa hidrokarbon alifatik, sehingga hasil biodegradasi hidrokarbon aromatik masih berupa senyawa hidrokarbon yang terekstrak dan bisa terdeteksi sebagai bagian dari total hidrokarbon. Mekanisme tersebut menyebabkan pula teramati sebagai fraksi alifatik pada hari ke-84.

Fraksi asphaltik merupakan fraksi hidrokarbon lumpur minyak dengan struktur molekul lebih kompleks dan berat molekul lebih tinggi, merupakan fraksi yang lebih tahan terhadap biodegradasi. Diperoleh, fraksi asphaltik selama biodegradasi mengalami peningkatan konsentrasi, terutama pada perlakuan dengan penambahan sumber inokulum dari kompos dan tanah gambut. Kecenderungan peningkatan konsentrasi asphaltik dalam lumpur minyak disebabkan oleh adanya transformasi fraksi hidrokarbon yang lain menjadi komponen asphaltik, melalui suatu reaksi kimia yang dikatalisis oleh enzim oksigenase yang menghasilkan radikal bebas dan senyawa–senyawa antara yang reaktif membentuk ikatan silang (Leahy dan Colwell, 1990).

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian dalam penggunaan empat macam sumber inokulum untuk mempercepat biodegradasi hidrogen lumpur minyak, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Penurunan residu total hidrokarbon dari yang paling banyak adalah tanah hutan, diikuti oleh penambahan sumber inokulum dari kompos, gambut dan bakau.
- Fraksi alfatik paling cepat dan paling banyak mengalami penurunan terutama pada perlakuan penambahan sumber inokulum dari tanah bakau. Fraksi aromatik hanya sedikit mengalami penurunan pada semua perlakuan, sedangkan pada fraksi asphaltik, cenderung mengalami peningkatan selama biodegradasi, terutama pada perlakuan penambahan sumber inokulum dari tanah gambut dan kompos.

5. PROSPEK

Prospek penelitian ini adalah memberikan kontribusi dalam penanganan lahan yang tercemar limbah minyak bumi, terutama pada lahan yang terletak di sekitar industri pengilangan minyak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Dr.Ir.Irfan D.Prijambada atas bantuannya dan fasilitasnya dalam pelaksanaan penelitian ini, serta kepada Kepala Laboratorium Mikrobiologi Tanah, Jurusan Tanah UGM atas segala bantuannya.

DAFTAR PUSTAKA

Alexander, M. 1994. Biodegradation and Bioremediation. Academic Press. New York.

Black, C.A., D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger, F.E. Clarck and R.R. Dinauer. [Editor]. 1965. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Inc. Wisconsin.

Bossert, I. and Compaeau, 1996. Cleanup of Petroleum Hydrocarbon Contamination in Soil. Dalam: Young, L. Y. and L.E. Cerniglia. [Editors]. Microbial Transformation and Degradation of Toxic Organic Chemicals. Willey-Liss. New York. pp. 77-126

Cerniglia, C.E.1981. Aromatic hydrocarbons: metabolism by bacteria, fungi, and algae. Rev.Biochem.Toxicol. 3: 321-361.

Crawford, R.L. 1996. Bioremediation Principles and Applications. Cambridge University Press. Cambridge.

Dibble, J.T., R. Bartha. 1979. Effect of environment parameter on the biodegradation of oil sludge. Appl. Environ. Microbiol. 37: 729-737.

Glazer, A.N. and H. Nikaido. 1994. Microbial Biotechnology: Fundamental of Applied Microbiology. Freeman and Company. New York. p. 501- 601.

Goldstein , R. M., L. M. Mallory, and A. Martin. 1985. Reason for possible failure of inoculation to enhance biodegradation. Appl. Environ. Microbiol. 50 : 977-983.

Leahy, J. G., and R. R. Colwell. 1990. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. Microbiol. Rev. 54 (3) : 305-315.

Mueller ,J.G., C. E. Cerniglia and P. H. Pritchard. 1996. Bioremediation of Enviroments Contaminated by Polyciclyc Aromatic Hydrocabons. In Craword, R.L. and D.L. Crawford.[Editor]. Bioremediations Principles and Applications. Cambridge University Press. Idaho. pp. 125-128

Pertamina, 1993. Plan of environmental management of mining of gas and oil in operation area at East Kalimantan. Jakarta.

Rosenberg, E. and E. Z. Ron. 1998. Bioremediation of Petroleum Contamination. dalam R. L. Crawford dan D. L. Crawford. [Editor]. Bioremediation Principles and Applications. Cambridge University Press. Cambridge. operation area at East Kalimantan. Jakarta.

ALTERNATIF ANTIKARIES GIGI : PROPOLIS

A. E. Zainal Hasan, I Made Artika, Popi A.K, Metty Lasmiyanti

Departemen Biokimia, FMIPA, IPB

Abstrak

Penyakit periodontal termasuk karies gigi masih banyak terjadi di kalangan masyarakat dunia. Pasta gigi komersial biasanya mengandung fluorida yang berperan penting dalam mencegah kerusakan gigi. Overdosis penggunaan senyawa berfluorida dapat menyebabkan fluorosis yang menyebabkan rusaknya tulang dan anemia. Oleh karena itu, propolis diujikan sebagai zat alternatif antikaries dengan menghambat pertumbuhan bakteri *Streptococcus mutans*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan aktivitas antibakteri propolis dan menentukan konsentrasi hambat tumbuh minimum propolis terhadap *S. mutans.* Propolis hasil ekstraksi dengan etanol mengandung senyawa golongan flavonoid, tanin, alkaloid, saponin, terpenoid berdasarkan analisis fitokimia. Efektivitas ekstrak propolis sebesar 96,05%, 41,03% dan 240,57% masing-masing terhadap propolis merk X, ampisilin 10 mg/ml dan NaF 3000 ppm. Nilai konsentrasi terendah dari ekstrak yang masih menunjukkan penghambatan terhadap pertumbuhan *S. mutans* sebesar 3,13 %. Propolis hasil ekstraksi dengan etanol ini dapat dijadikan alternatif zat antikaries dalam pasta gigi. Berdasarkan analisis statistik, ekstrak propolis 100 %, propolis merk X dan ampisilin 10 mg/ml dapat menurunkan jumlah koloni *S. mutans.*

Kata kunci : pasta gigi, fluorosis, karies, propolis, dan bakteri

Abstract

Periodontal disease included dental caries still the major problem in the world. Usually commercial tooth paste contains fluoride which has an important role to prevent tooth from damage. Contain fluoride overdose caused fluorosis, bone damage and anemia. Therefore, the propolis was being tested as alternative additive anti caries to prevent the growth of cariogenics bacteria **(***Streptococcus mutans*). This research studied propolis activity antibacterial and the minimum inhibitory concentration (MIC) of propolis against *S. mutans.* Ethanolic extract of propolis (EEP) contained various bioactive compound such as flavonoid, tannine, alkaloid, triterpenoid and saponin based on phytochemistry analyses. The extract effectivities are 96.5% relative to the propolis X, 41.04% relative to amphicillin 10 mg/ml and 240.57% relative to NaF 3000 ppm. The MIC of the extract is 3.13%. Therefore, propolis extract can be used as additive anti caries element in tooth paste. Statistical analyses showed that 100% EEP, X propolis and amphicillin 10 mg/ml had the ability to decrease *S. mutans* colony.

Key words : tooth paste, fluorosis, caries, propolis, and bacteria

1. PENDAHULUAN

Sampai saat ini masalah penyakit periodontal temasuk karies gigi masih banyak terjadi di kalangan masyarakat dunia. Hal ini disebabkan oleh faktor dalam, yaitu kehigienisan mulut dan gigi serta faktor luar yang mempengaruhi faktor dalam tersebut. Faktor luar yang tidak langsung diantaranya pola diet masyarakat DAN pengetahuan masyarakat tentang kehigienisan mulut termasuk pengetahuan tentang cara menggosok gigi yang benar. Hanya 27,5% sukarelawan di dua kecamatan di Medan yang menggosok gigi pada waktu yang tepat atau setelah makan dan sebelum tidur (Situmorang 2004). Dari pola makan, sebagai contoh rata-rata para ibu selalu memberikan makanan pokok dengan kadar karbohidrat 80%, dan memberikan jajanan yang mengandung 96,7% karbohidrat (Yuyus *et al.* 1991).

Plak gigi yang menjadi penyebab terjadinya karies gigi dapat dihilangkan dengan menggosok gigi dengan cara yang benar dan dilakukan pada waktu yang tepat. Selain itu, pemakaian pasta gigi yang mengandung bahan antibakteri yang mampu membunuh bakteri penyebab karies gigi. Pasta gigi komersial biasanya mengandung fluorida dalam bentuk natrium fluorida (NaF). Zat tersebut berperan penting dalam mencegah kerusakan gigi. Senyawa fluorida ini juga sangat penting untuk pemeliharaan gigi agar tetap kuat, terutama pada anak-anak. Hal ini disebabkan senyawa fluorida dapat membantu pembentukan enamel gigi yang lebih tahan terhadap kerusakan. Walaupun demikian, penggunaan senyawa berfluorida secara berlebih dapat menyebabkan fluorosis yang beraibat terjadinya kerusakan tulang dan anemia. Fluorosis merupakan kerusakan gigi ditandai dengan perubahan warna gigi menjadi gelap dan rapuh. Selain itu dapat juga timbul bercak pada gigi dan yang lebih berbahaya lagi dapat menyebabkan gagal ginjal.

Penggunaan bahan alternatif lain sebagai antibakteri dalam pasta gigi banyak dilakukan. Hal ini dilakukan dengan mencari bahan alami yang memiliki potensi sebagai antibakteri dalam pasta gigi dan sekecil mungkin memiliki efek samping. Minyak daun sirih dilaporkan memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Streptococcus mutans* yang lebih tinggi dibandingkan dengan NaF (Sundari 1991). Bahan alami lain yang berfungsi sebagai antibakteri adalah propolis. Propolis *Trigona* spp. berdasarkan penelitian Anggraini (2006) terbukti memiliki potensi sebagai antibakteri, namun belum diujikan pada bakteri kariogenik. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian terhadap propolis *Trigona* spp. sebagai antibakteri kariogenik (*S. mutans*).

Penelitian bertujuan untuk menentukan adanya aktivitas antibakteri propolis dan menentukan konsentrasi hambat tumbuh minimum (KHTM) propolis terhadap *S. mutans*.

Hipotesis penelitian adalah propolis mempunyai aktivitas antibakteri terhadap *S. mutans* yang lebih besar dibandingkan dengan natrium fluorida (NaF 3000 ppm). Hasil penelitian diharapkan memberikan informasi ilmiah mengenai propolis yang dapat dijadikan antibakteri kariogenik alternatif yang dapat diaplikasikan dalam formula pasta gigi. Penelitian bermanfaat dalam memperluas aplikasi dan nilai guna propolis.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang dibutuhkan adalah propolis kasar *Trigona* spp yang berasal dari peternakan lebah di Pandeglang Banten, bakteri *S. mutans*, media cair PYG (pepton, *yeast*, glukosa), media padat PYG, etanol 70%, propilen glikol teknis, natrium fluorida (NaF), larutan natrium klorida 0,9%, pereaksi-pereaksi uji fitokimia, dan akuades.

Alat-alat yang digunakan adalah autoklaf, *shaker*, rotavapor, spektofotometer UV, *laminar air flow cabinet*, inkubator, mikropipet, neraca analitik, alat penghitung koloni, *vortex,* jangka sorong, mortar, jarum ose, cawan petri, dan beberapa alat gelas lainnya.

2.2. Metode Penelitian

2.2.1. Ekstraksi propolis

Propolis diekstraksi menggunakan metode yang sesuai dengan prosedur yang telah didaftarkan paten dengan biaya dari DIKTI, Departemen Pendidikan Nasional tahun 2007. Selanjutnya ekstrak tersebut dilakukan uji fitokimia dan uji aktivitas antibakteri penyebab karies gigi.

2.2.2. Analisis Fitokimia

Analisis fitokimia merupakan uji kualitatif untuk mengetahui keberadaan golongan senyawa-senyawa aktif yang terkandung dalam eksktrak propolis. Analisis fitokimia dilakukan berdasarkan metode Harbone (1987). Identifikasi yang dilakukan adalah uji alkaloid, uji tanin, uji flavonoid, uji saponin, uji steroid, dan uji minyak atsiri. Sampel propolis yang digunakan adalah ekstrak propolis 100% dan propolis merk X yang telah diencerkan dengan akuades.

Uji Aktivitas Antibakteri. Uji aktivitas antibakteri menggunakan metode perforasi atau difusi sumur, metode hitungan cawan, dan metode turbidimetri (kekeruhan). Pembanding yang digunakan adalah tablet ampisilin 250 mg dengan konsentrasi 10 mg/mL (kontrol positif), akuades (kontrol negatif), propolis merk X, kontrol pelarut (propilen glikol dan etanol 70%), dan NaF 3000 ppm..

Pembuatan Stok Kerja. Bakteri yang digunakan diambil dari stok kerja untuk mencegah terjadinya kontaminasi pada stok primer. Bakteri yang berasal dari kultur primer diambil sebanyak satu ose ke dalam 10 mL PYG cair lalu diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam. Setelah itu, satu ose bakteri dari media tersebut digoreskan ke agar miring PYG dan diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam. Komposisi media PYG dalam satu liter akuades adalah 10 g *bacto peptone*, 10 g *yeast ekstrak*, 20 g glukosa, dan 20 g *bacto agar*.

Uji Pendahuluan. Uji pendahuluan aktivitas antibakteri dilakukan dengan metode difusi sumur. Bakteri dari stok kerja sebanyak satu ose dipindahkan ke dalam 10 mL PYG cair steril dan diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam. Kemudian bakteri dengan volume tertentu dari biakan tersebut disebarkan ke dalam cawan petri, lalu ditambahkan 20 mL media agar PYG bersuhu ± 45 ^{o}C. Setelah itu, cawan tersebut digoyangkan supaya bakteri tersebar secara merata. Selanjutnya, biakan bakteri tersebut didiamkan pada suhu kamar sampai memadat. Setelah memadat, biakan dilubangi dengan diameter ± 5 mm. Ekstrak propolis sebanyak 50 µL dimasukkan ke dalam lubang tersebut lalu diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam. Zona bening yang terlihat disekelililng lubang menandakan sampel memiliki aktivitas antibakteri. Volume bakteri yang diambil berdasarkan nilai absorban yang terukur pada panjang gelombang 600 nm dengan spektofotometer UV. Jika nilai absorban yang terukur kurang dari 1,000 A maka volume bakteri yang diambil sebanyak 100 µL. Jika nilai absorban yang terukur lebih dari 1,000 A maka volume bakteri yang diambil sebanyak 50 µL (Hadioetomo 1990).

2.2.3. Penentuan Konsentrasi Hambat Tumbuh Minimum (KHTM)

Penentuan konsentrasi hambat tumbuh minimum dilakukan setelah diketahui bahwa ekstrak propolis memiliki aktivitas antibakteri. Tahap pertama yaitu pengenceran propolis dengan akuades sehingga didapatkan beberapa konsentrasi (100% sampai 1.56% v/v). Tiap konsentrasi sebanyak 50 µL dimasukkan ke dalam lubang media PYG padat yang mengandung bakteri uji. Kemudian diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam. Aktivitas antibakteri diperoleh dengan mengukur diameter zona bening di sekitar lubang sampel dengan menggunakan jangka sorong.

2.2.4. Uji Aktivitas Antibakteri Metode Hitungan Cawan

Setelah nilai KHTM didapatkan, jumlah sel bakteri dihitung berdasarkan metode hitungan cawan. Sampel yang digunakan adalah ekstrak propolis dengan konsentrasi saat KHTM dan ekstrak propolis 100%. Yang dimaksud ekstrak propolis 100% merupakan ekstra propolis yang sudah dilarutkan dengan propilen glikol dengan

perbandingan 1:1. Pembanding yang digunakan pada metode ini adalah ampisilin dengan konsentrasi 10 mg/mL (kontrol positif), akuades (kontrol negatif), propolis merk X, kontrol pelarut (propilen glikol dan etanol 70%), dan larutan NaF 3000 ppm.

Bakteri uji sebanyak satu ose dikulturkan ke dalam 10 mL media PYG cair lalu diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam. Nilai absorbansi kultur tersebut diukur dan kultur tersebut dengan volume tertentu dipindahkan ke dalam 10 mL media PYG cair yang berisi 50 µL sampel. Selanjutnya biakan tersebut diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam. Kemudian kultur tersebut diencerkan dengan larutan NaCl 0,9% steril sehingga diperoleh bakteri dalam jumlah tertentu. Larutan bakteri hasil pengenceran sebanyak 100 µL disebar ke dalam cawan petri lalu media agar PYG dituang dan dibiarkan hingga memadat. Setelah memadat kultur bakteri tersebut diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam.

2.2.5. Uji Aktivitas Antibakteri Metode Turbidimetri

Sebanyak satu ose biakan bakteri dikulturkan ke dalam 10 mL PYG cair dan diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam. Setelah itu 100 µL kultur tersebut dan 50 µL sampel dipipet ke dalam 10 mL PYG cair lalu diinkubasi pada suhu 37 ^{o}C selama 24 jam. Sampel dan pembanding yang digunakan sama seperti pada uji aktivitas antibakteri metode hitungan cawan.

2.2.6. Analisis Statistik

Analisis statistik yang digunakan dalam pengolahan data adalah rancangan percobaan satu faktor dalam Rancangan Acak Lengkap. Berikut ini merupakan model rancangannya (Mattjik 2000):

$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$

Yij = pengamatan pada perlakuan ke-i dan ulangan ke-j

μ = rataan umum

τ_i = pengaruh perlakuan ke-i

ε_{ij} = pengaruh acak pada perlakuan ke-i, ulangan ke-j

Rancangan percobaan ini digunakan pada penentuan nilai KHTM, penentuan jumlah koloni dengan metode hitungan cawan dan turbidimetri. Data yang diperoleh dianalisis dengan ANOVA (*Analysis of Variance*) pada tingkat kepercayaan 95% dan taraf α 0,05. Uji lanjut yang digunakan adalah uji Duncan. Seluruh data dianalisis dengan menggunakan program SPSS 15,0.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Fitokimia

Analisis fitokimia dilakukan untuk mengidentifikasi golongan zat aktif dalam ekstrak propolis secara kualitatif. Hasil analisis fitokimia menunjukkan golongan senyawa aktif yang terdapat dalam ekstrak propolis yaitu flavonoid, triterpenoid, tanin, alkaloid, dan saponin. Terdapat kesamaan golongan senyawa aktif yang terkandung dalam ekstrak propolis dengan propolis komersial. Uji fitokimia yang dilakukan oleh Anggraini (2006) menunjukkan ekstrak propolis yang diperoleh tidak mengandung alkaloid. Perbedaan komposisi zat aktif pada kedua ekstrak tersebut dikarenakan waktu pengkoleksian propolis yang berbeda. Menurut Teixera (2005) komposisi zat aktif dalam propolis berbeda-beda bergantung dari tumbuhan asal resin, iklim, waktu pengkoleksian, dan jenis lebah.

Analisis komposisi zat aktif dalam propolis Mesir dengan menggunakan kromatografi gas adalah senyawa flavonoid, triterpenoid, alkaloid, dan asam aromatik (Hegazi 2002). Adanya perbedaan senyawa aktif yang berperan sebagai antimikrob, antiimflamasi, dan antioksidan dalam berbagai ekstrak propolis dari tempat yang berbeda (Bankova 2005). Hal tersebut menunjukkan iklim dan sumber tanaman asal sangat mempengaruhi kualitas ekstrak propolis.

Alkaloid merupakan golongan senyawa nitrogen heterosiklik. Senyawa ini pula yang menyebabkan propolis memiliki efek anastesi, karena sifatnya yang mirip dengan morfin. Alkaloid juga memiliki sifat antibakteri, karena memiliki kemampuan menginterkalasi DNA (Murphy 1999).

Senyawa fenol yang terdapat dalam ekstrak propolis berdasarkan uji fitokimia adalah flavonoid dan tanin. Menurut Bankova (2005) golongan senyawa fenol yang terkandung dalam propolis menunjukkan aktivitas antibakteri, antiradang, dan antioksidan. Sifat antibakteri flavonoid secara umum disebabkan senyawa ini mempunyai kemampuan mengikat protein ekstraseluler dan protein integral yang bergabung dinding sel bakteri (Murphy 1999). Akibat mekanisme tersebut, permeabilitas dinding sel terganggu sehingga dinding sel pecah karena tidak mampu menahan tekanan sitoplasma.

Senyawa tanin dalam ekstrak propolis diduga memiliki sifat antimikroba karena kemampuannya dalam menginaktif protein enzim, dan lapisan protein transpor (Murphy 1999). Sifat antibakteri dari senyawa tanin didukung dengan hasil penelitian ynag dilakukan oleh Yulia (2006). Rita menyatakan bahwa senyawa tanin yang terdapat dalam ekstrak teh dapat menghambat pertumbuhan bakteri kariogenik (Yulia 2006).

Hasil uji fitokimia menunjukkan ekstrak propolis yang didapat mengandung senyawa triterpenoid. Triterpenoid dapat ditemukan pada lapisan lilin buah, damar, kulit, batang dan getah yang mungkin digunakan sebagai sumber resin propolis oleh lebah. Rasa pahit pada ekstrak propolis disebabkan adanya senyawa triperpena dalam ekstrak tersebut.

Analisis fitokimia menunjukkan bahwa ekstrak propolis mengandung saponin. Senyawa saponin membentuk busa sabun dalam air dan merupakan bahan aktif permukaan (Suradikusumah 1989). Oleh karena itu, saponin dapat mengganggu permeabilitas membran sel bakteri, sehingga sel tersebut akan lisis.

Tabel 1. Hasil analisis fitokimia ekstrak propolis dan propolis merk X

Senyawa	Hasil	
	Ekstrak	Merk X
Alkaloid	√	√
Flavonoid	√	√
Minyak Atsiri	√	√
Triterpenoid	√	√
Saponin	√	√
Tanin	√	√

Keterangan: (√) = ada; (-) = tidak ada

3.2. Efektivitas Ekstrak Propolis terhadap Propolis Merk X

Metode yang digunakan dalam penentuan aktivitas antibakteri adalah metode difusi sumur. Metode ini dipilih karena mudah, murah dan umum digunakan dalam uji aktivitas antibakteri. Terbentuknya zona bening di sekitar sumur dalam media padat menunjukkan bahwa ekstrak propolis yang digunakan memiliki potensi antibakteri kariogenik.

Berdasarkan analisis statistik, tidak dapat perbedaan secara nyata antara besar diameter zona bening yang terbentuk baik pada kultur bakteri yang ditambahkan ekstrak propolis 100% maupun pada propolis merk X. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa zat aktif yang terkandung baik dalam propolis merk X maupun ekstrak propolis 100% memiliki kemampuan yang sama dalam menghambat pertumbuhan *S. mutans.* Namun secara matematis, efektivitas ekstrak propolis terhadap propolis merk X sebesar 96,08%. Efektivitas ekstrak propolis terhadap propolis komersial yang diperoleh Anggraini (2006) sebesar 156,61% untuk *B. subtilis*, 142,70% untuk *S. aureus*, 136,24% untuk *E. coli*, dan 252,04% untuk *P. aeruginosa*. Oleh karena ekstrak propolis yang dipakai tersebut merupakan hasil pengenceran 1:1, maka potensinya sekitar kelipatan dua dari yang ada tersebut.

Perbedaan nilai disebabkan perbedaan sensitifitas tiap bakteri terhadap ekstrak dan perbedaan waktu pengumpulan propolis. Tiap jenis bakteri memiliki daya tahan terhadap senyawa aktif. Perbedaan ini disebabkan perbedaan penyusun dinding sel, keberadaan kapsul pelindung, dan kemampuan mendegradasi senyawa aktif tersebut.

Keragaman jenis tumbuhan asal resin merupakan faktor utama yang menimbulkan perbedaan komposisi senyawa kimia yang terdapat dalam propolis. Perbedaan komposisi senyawa kimia menimbulkan perbedaan warna dan aroma pada jenis propolis yang berbeda. Aroma yang tercium merupakan aroma senyawa aromatis yang bersifat volatil yang terkandung dalam propolis (Salatino 2005). Berdasarkan bebarapa penelitian dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan komposisi senyawa propolis tergantung daerah asal propolis. Fakta ini diperkuat oleh hasil penelitian bahwa semua sampel propolis dari berbagai daerah asal menunjukkan aktivitas antibakteri meskipun terdapat perbedaan komposisi senyawa kimia (Bankova 2005).

3.3. Efektivitas Penghambatan Ekstrak Propolis terhadap Ampisilin 10 mg/mL

Ampisilin telah terbukti memiliki aktivitas antibakteri dalam spektrum yang luas, yaitu dapat menghambat bakteri Gram positif maupun Gram positif (Siswandono 1995). Bakteri gram positif lebih sensitif terhadap antibiotik turunan penisilin ini (Siswandono 1995). Oleh karena itu, ampisilin digunakan sebagai kontrol positif.

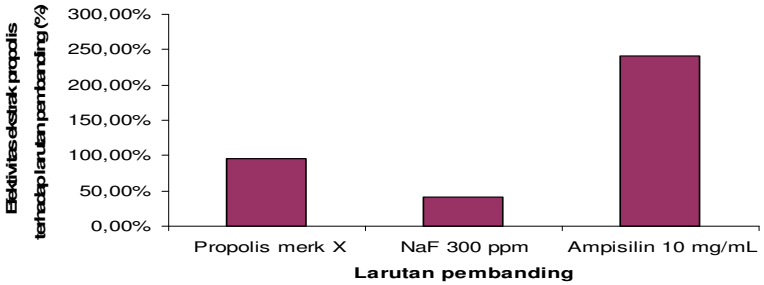
Berdasarkan analisis statistik, diameter zona bening yang terbentuk oleh ekstrak propolis dengan ampisilin 10 mg/mL, berbeda nyata. Diameter zona bening yang terbentuk sebesar 12,75 mm untuk ekstrak propolis 100% dan 31,07 mm untuk ampisilin 10 mg/mL. Secara matematis, efektivitas propolis terhadap ampisilin dapat dihitung, yaitu sebesar 41,04%. Nilai efektifitas ekstrak propolis terhadap ampisilin 10 mg/mL memiliki nilai terkecil, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hal tersebut menunjukkan bahwa daya hambat Ampisilin 10 mg/mL terhadap *S. mutans* lebih besar dibandingkan dengan ekstrak propolis.

Efektivitas propolis yang diujikan oleh Anggraini (2006) terhadap ampisilin 10 mg/mL adalah sebesar 115,22% untuk *Bacillus subtilis*. 149,80% untuk *Staphylococcus aureus,* 109,03% untuk *Escherichia coli,* dan 144,64% untuk *Pseudomonas aeruginosa*. Nilai efektivitas tersebut berbeda karena perbedaan waktu koleksi propolis dan berbedanya tingkat sensitifitas tiap bakteri terhadap antibakteri. Sensitifitas ini meliputi resitensi suatu bakteri, sebagai contoh *S. aureus* memiliki enzim betalaktamase (Ganiswarna 1995). Enzim ini dapat menghidrolisis cincin betalaktam pada ampisilin sehingga *S. aureus* lebih tahan terhadap ampisilin dibandingkan dengan bakteri lain yang diujikan.

Berdasarkan analisis statistik, diameter zona bening ampisilin secara nyata paling besar dibandingkan dengan seluruh sampel yang diujikan. Ampisilin merupakan antibiotik β-laktam dan termasuk ke dalam golongan penisilin semisintetik (Siswandono 1995). Mekanisme kerja antibakteri ampisilin yaitu menghambat pembentukkan dinding sel bakteri dengan mencegah bergabungnya asam N-asetil muramat ke dalam struktur peptidoglikan. Penghambatan biosintetik peptidoglikan menyebabkan dinding sel lemah dan dinding sel dapat pecah karena tidak dapat menahan tekanan dari sitoplasma. Mekanisme kerja yang dimiliki ampisilin tersebut yang menyebabkan ampisilin memiliki daya antibakteri yang besar dan bersifat bakteriosidal

Mekanisme kerja ekstrak propolis belum dapat diketahui pasti dengan penelitian yang dilakukan. Berdasarkan uji fitokimia, baru diketahui golongan senyawa aktif dalam ekstrak propolis tetapi belum diketahui secara pasti senyawa aktifnya. Banyaknya golongan senyawa aktif yang terkandung dalam propolis namun jenis senyawa tersebut tidak diketahui secara pasti. Senyawa aktif tersebut dapat saja menghasilkan efek resultan yang saling mendukung (efek sinergisme) atau saling menghilangkan (antagonis). Hal tersebut dapat diketahui dengan melakukan penelitian lanjutan mengenai mekanisme kerja ekstrak propolis.

Dugaan mekanisme antibakteri propolis adalah dengan mengganggu permeabilitas membran sel, menginaktif protein, enzim, mengikat protein ekstraseluler dan protein integral dan menghambat sintesis dinding sel. Hal tersebut didasarkan mekanisme antibakteri secara umum terhadap bakteri dari senyawa aktif yang berhasil diidentifikasi dalam ekstrak propolis berdasarkan uji fitokimia. Berdasarkan penelitian yng dilakukan oleh Koo (2002) terhadap senyawa aktif dalam propolis, senyawa terpena (farnesol) dapat merusak fungsi membran sel sedangkan flavon dan flavonol efektif menghambat GTase pada *S. mutans*.



Gambar 1. Efektivitas ekstrak propolis 100% terhadap propolis merk X, NaF 3000 pm, dan ampisilin10 mg/mL

Oleh karena ekstrak propolis yang dipakai tersebut merupakan hasil pengenceran 1:1, maka potensinya sekitar kelipatan dua dari yang ada tersebut.

3.4. Efektivitas Penghambatan Ekstrak Propolis terhadap NaF 3000 ppm

Senyawa fluorida dapat mencegah demineralisasi gigi dan menghambat pekembangan bakteri kariogenik sehingga sering digunakan dalam pasta gigi sebagai antikaries (Lewis 2002). Sumber fluor yang umum digunakan dalam pasta gigi adalah senyawa natrium fluorida dan natrium monofluorofosfat. Konsentrasi NaF atau senyawa fluorida lain dalam pasta gigi berkisar 2500-8000 ppm.

Berdasarkan analisis statistik, diameter zona hambat NaF 3000 ppm dengan kontrol negatif (akuades, etanol 70%, dan propilen glikol) tidak berbeda nyata. Sedangkan, diameter zona bening kultur yang ditambahkan NaF 3000 ppm dengan ekstrak propolis 100% berbeda nyata. Diameter zona bening yang terbentuk sebesar 12,75 mm untuk ekstrak propolis 100% dan 5,30 mm untuk larutan NaF 3000 ppm. Secara matematis, efektivitas ekstrak propolis 100% terhadap NaF 3000 ppm yaitu sebesar 240,57%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa ekstrak propolis 100% memiliki aktifitas antibakteri yang lebih besar dibandingkan dengan NaF 3000 ppm. Hal tersebut diduga karena jumlah NaF yang ditambahkan terlalu sedikit sehingga sulit untuk merintangi media padat yang mengandung *S. mutans*, sehingga jumlah bakteri yang beraksi langsung dengan NaF sangat kecil. Berdasarkan pemaparan tersebut, ekstrak propolis dapat dijadikan zat antikaries alternatif dalam pasta gigi pengganti NaF 3000 ppm. Oleh karena ekstrak propolis yang dipakai tersebut merupakan hasil pengenceran 1:1, maka potensinya sekitar kelipatan dua dari yang ada tersebut.

3.5. Konsentrasi Hambat Tumbuh Minimum (KHTM)

Penentuan Konsentrasi Hambat Tumbuh Minimum dilakukan untuk menentukan konsentrasi terendah ekstrak propolis yang masih menghambat pertumbuhan *S. mutans*. Parameter adanya penghambatan pertumbuhan pada *S. mutans* yaitu dengan mengukur diameter zona bening kultur bakteri pada media padat. Konsentrasi ekstrak propolis yang diujikan beragam antara 100% sampai dengan 1,56% (v/v). Berdasarkan data dan gambar 2 konsentrasi 6,25% merupakan nilai KHTM untuk ekstrak propolis. Artinya ekstrak propolis dengan konsentrasi 6,25% sudah dapat menghambat pertumbuhan *S. mutans*. Namun secara statistik, ekstrak propolis 6,25% memiliki diameter zona bening yang tidak berbeda nyata dengan kontrol negatif (akuades, propilen glikol, dan etanol 70%). Berdasarkan analisis statistik, ekstrak propolis 12,5% baru menunjukkan adanya penghambatan terhadap *S. mutans*.

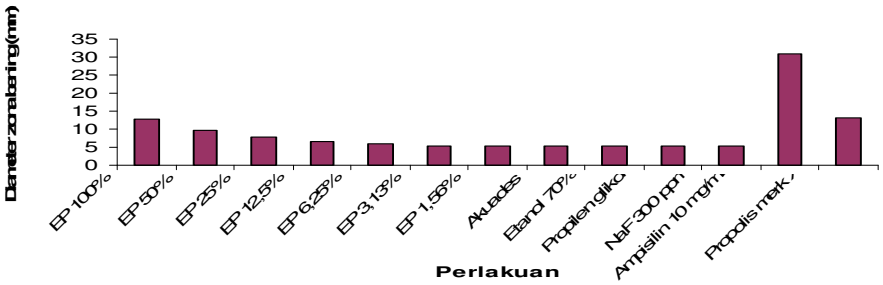
Nilai KHTM ekstrak propolis yang diperoleh Anggraini (2006) terhadap bakteri Gram positif yaitu sebesar 0,75% untuk *Bacillus subtilis* dan 0,39% untuk *Staphpylococcus aureus*. Perbedaan nilai KHTM disebabkan sensitifitas bakterti terhadap zat antibakteri.

Selain sifat bakteri uji, komposisi zat aktif yang berbeda dalam kedua ekstrak tersebut berdasarkan uji fitokimia menyebabkan perbedaan KHTM.

Nilai KHTM pada ekstrak daun teh variasi *Assamica* yang dilakukan oleh Yulia (2006) sebesar 0,5% pada bakteri *S. mutans*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Sosialsih (2002), nilai KHTM minyak atsiri daun sirih pada kultur *S. mutans* yaitu sebesar 0.1%. Kedua nilai KHTM tersebut lebih kecil dibandingkan dengan KHTM ekstrak propolis yang didapat. Berdasarkan perbandingan nilai KHTM ketiga ekstrak tersebut, maka ekstrak propolis memiliki daya hambat terhadap *S. mutans* yang paling kecil. Perbedaan ini disebabkan berbedanya komposisi zat aktif pada kedua ekstrak tersebut. Zat aktif bersifat antibakteri yang paling penting dalam teh adalah senyawa tanin sedangkan menurut Grange (1990) zat antibakteri terpenting dalam propolis adalah golongan senyawa flavonoid dan asam kafeat. Berdasarkan analisis dengan kromatografi gas dengan spektrum massa yang dilakukan oleh Sosialsih (2002) senyawa terbanyak dalam sampel yang bersifat antibakteri dalam minyak atsiri daun sirih adalah kavikol dan eugenol.

Ketiga jenis pelarut yang digunakan (etanol 70%, propilen glikol, dan akuades) diuji aktifitas antibakterinya sebagai kontrol negatif. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh pelarut terhadap penghambatan pertumbuhan kultur *S. mutans*. Metode yang digunakan sama seperti sampel yang lain, yaitu dengan teknik difusi sumur.

Hasil pengamatan pada metode difusi sumur menunjukkan bahwa ketiga pelarut tidak memberikan efek antibakteri dalam ekstrak propolis. Etanol sering digunakan sebagai antiseptik, namun hasil uji menunjukkan hasil negatif. Hal tersebut diduga jumlah etanol yang ditambahkan terlalu sedikit sehingga sulit untuk merintangi media padat yang mengandung *S. mutans*, tidak demikian halnya jika menggunakan etanol 70% sebagai antiseptik. Etanol 70% dapat melakukan kontak langsung dengan bakteri sehingga bakteri dapat dibunuh. Oleh karena ekstrak propolis yang dipakai tersebut merupakan hasil pengenceran 1:1, maka potensinya KHTM merupakan sekitar setengahnya dari konsentrasi yang ada tersebut.



Gambar 2. Konsentrasi Hambat Tumbuh Minimum.

3.6. Jumlah Koloni

Metode hitungan cawan bersifat kuantitatif karena setiap sel yang dapat hidup di dalam media yang mengandung propolis diasumsikan akan berkembang menjadi satu koloni. Tiap bakteri memiliki tingkat sensitifitas terhadap antibakteri, termasuk ekstrak propolis, yang berbeda.

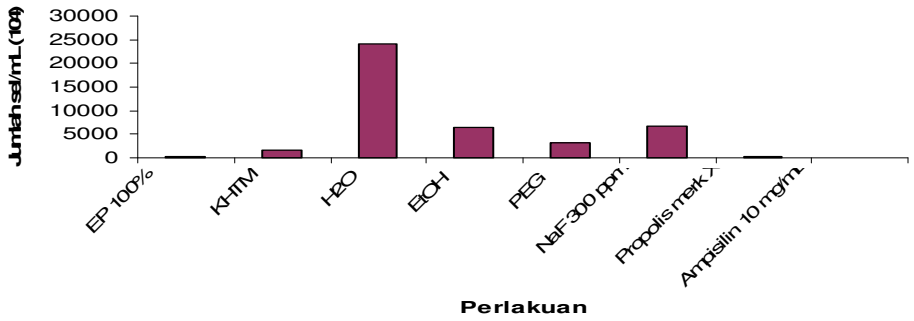
Gambar 3 memperlihatkan jumlah sel/mL yang dapat hidup setelah ditambahkan sampel. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan jumlah sel/mL *S. mutans* yang ditambahkan ekstrak propolis 100%, propolis merk X, dan ampisilin 10 mg/mL. Ekstrak propolis 6,25% sudah mampu menurunkan jumlah sel/mL *S. mutans*. Hasil tersebut menunjang nilai KHTM ekstrak propolis yaitu pada konsentrasi 6,25%. Namun berdasarkan analisis statistik tidak terdapat penurunan jumlah sel/mL secara nyata dengan kontrol pelarut (etanol 70% dan propilen glikol).

Metode turbidimetri merupakan metode penunjang untuk menentukan jumlah sel/mL. Metode ini bersifat semikuantitatif karena kekeruhan kultur yang terjadi tidak hanya berasal dari sel yang hidup, tetapi sel bakteri yang mati juga dapat menyebabkan kekeruhan pada media cair. Parameter yang diukur dalam metode ini adalah kekeruhan atau absorbansi kultur bakteri. Semakin banyak *S. mutans* yang terdapat dalam media cair semakin besar nilai absorbansi kultur tersebut.

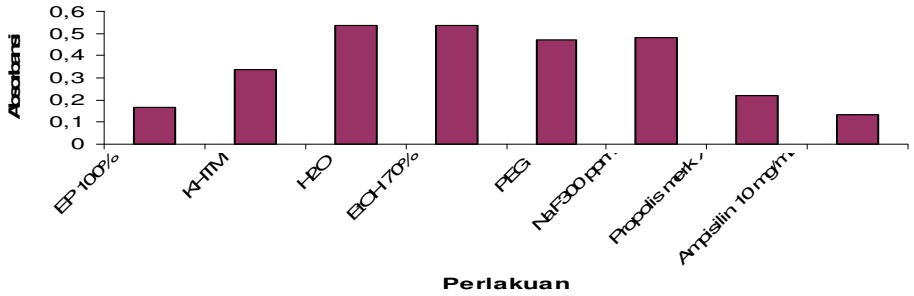
Gambar 4 menunjukkan bahwa, kultur *S. mutans* dengan penambahan ampisilin 10 mg/mL memiliki nilai absorbansi paling kecil yaitu sebesar 0,134 A. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ampisilin memiliki daya aktifitas antibakteri paling besar diantara sampel yang digunakan. Secara analisis statistik, hal ini diperkuat dengan data diameter zona bening terbesar dihasilkan oleh kultur *S. mutans* yang ditambah ampisilin 10 mg/mL.

Berdasarkan analisis statistik pada metode turbidimetri, nilai absorbansi kultur bakteri yang ditambahkan ekstrak propolis 100%, propolis merk X, ampisilin 10 mg/mL dan propolis saat KHTM lebih kecil dan berbeda nyata dengan kontrol negatif (akuades, etanol 70%, dan propilen glikol). Hasil tersebut menunjukkan bahwa ampisilin 10 mg/mL, etanol 70%, dan propolis merk X dapat menurunkan jumlah sel dalam media cair secara nyata. Oleh karena ekstrak propolis yang dipakai tersebut merupakan hasil pengenceran 1:1, maka jumlah koloninya merupakan sekitar setengahnya dari jumlah yang ada tersebut.

Berdasarkan analisis statistik, kultur bakteri dengan penambahan larutan NaF 3000 ppm tidak menunjukkan terjadinya penurunan jumlah *S. mutans* baik menurut metode hitungan cawan maupun turbidimetri. Hal tersebut menunjukkan bahwa larutan NaF 3000 ppm tidak bersifat antibakteri terhadap kultur *S. mutans.*



Gambar 3. Jumlah koloni dengan metode hitungan cawan.



Gambar 4. Absorbansi bakteri dengan metode turbidimetri.

4. SIMPULAN DAN SARAN

Ekstrak propolis ini dapat menghambat pertumbuhan bakteri kariogenik *S. mutans* dengan nilai Konsentrasi Hambat Tumbuh Minimum (KHTM) sebesar 1,83 persen. Ekstrak propolis dapat dijadikan zat antikaries alternatif dalam pasta gigi. Ekstrak propolis 100%, propolis merk X, dan ampisilin 10 mg/mL dapat menurunkan jumlah koloni *S. mutans* berdasarkan metode turbidimetri. Berdasarkan uji fitokimia ekstrak propolis mengandung senyawa flavonoid, triterpenoid, tanin, alkaloid, minyak atsiri, dan saponin.

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui mekanisme penghambatan ekstrak propolis terhadap *S. mutans*. Selain itu, penelitian secara *in vivo* ekstrak propolis dalam penghambatan karies gigi perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Angraini AD. 2006. Potensi propolis lebah madu *Trigona* spp. sebagai bahan antibakteri [Skripsi]. Bogor: Program Studi Biokimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Anonim. 2002. Dental caries. http://en. wikipidia. org/wiki/ Dental caries [27 Januari 2007].

Ashurst. 1995. Flavouring. New York: Blackie Academic & Profesional.

Bankova V. 2005. Recent trends and important developments in propolis research. eCAM 2(1): 29-32.

Beighton D, William AM. 1977. A microbiological study of normal flora of macropod dental plaque. J Dent Res 56(8): 995-1000.

Chinthapally V, Rao, Valhalla NY. 1993. Propolish. Medical journal 53:1482-1488.

Coykendall AL. 1989. Classification and identification of the viridian streptococci. Clinical Microbiology Reviews Vol ke-2 (3): 315-327.

Dharmayanti NLP, Sulistyowati E,Tejolaksono MN, Prasetya R. 2000. Efektifitas pemberian propolis lebah dan royal jelly pada abses yang disebabkan Sthaphylococcus aureus. Berita Biologi Vol 5(1): 41-48.

Fardiaz S. 1989. Mikrobiolgi Pangan. Bogor: PAU Pangan dan Gizi, Institut Pertanian Bogor.

Fearnly J. 2005. Bee Propolis: Natural Healig from The Hive. London: Souvenir.

Free JB. 1982. Bees and Mankind. London: george Allen & Unkwin.

Ganiswarna SG et al. 1995. Farmakologi dan Terapi. Jakarta: UI.

Gojmerac WL. 1983. Bee, beekeeping, Honey and Pollination. Westport: Avi.

Grange JM, Davey RW. 1990. Antibacteria of propolis (bee glue). Journal of The Royal Society of Medicine 83: 159-160.

Hamada S, Slade HH. 1980. Biology, Immunology and Cariogenicity of Streptococcus mutans. Microbiological Review 44(2):331-384.

Hardie JM, Whiley RA. 1991. The Genus of Streptococcus oral. Ed ke-2 Balows A et al editor. New York: Springer Verlag.

Hadioetomo. 1990. Mikrobiologi Dasar dalam Praktek. Jakarta: Gramedia.

Harbone HB. 1987. Metode Fitokimia I. Ed ke-2 Padmawinat K, penerjemah. Bandung: ITB. Terjemahan dari Phytochemical methode.

Hegazi AG, Faten KA. 2002. Egyptyan propolis: 3 antioxidant, antimicrobial, activities and chemical composition of propolis from reclaimed lands. Z. Naturforsch 57c: 395-402.

Koo H et. al. 2002. Effects of compounds found in propolis on Streptococcus mutans growth and on glucosyltransferase activity Antimicrob Agents Chemother 6(5): 1302-1309.

Lewis CW, Peter M. 2003. Fluoride. Pedriatrics in Review 24(10): 327-336.

Mantienzo AC, Lamorena M. 2004. Extraction and initial characterization of Propolis from stingless Bees (Trigona Biro Fries). Di dalam Proceeding of 7th Asian Apicultural Association Conference and 10th BEENET Symposium And Technofora Los Banos,23-27 Februari 2004. Los Banos: Univ Philippines. Hlm: 321-329.

Mattjik AA, Sumertajaya IM. 2000. Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab Jilid I. Bogor: IPB Press.

Murphy MC. 1999. Plant Products as Antimicrobial Agents. Clin Microbiol Rev. 12(4): 564–582l.

Nelli. 2004. Waktu pencarian serbuk sari lebah pekerja Trigona (Apidae:Hymenoptera) [skripsi]. Bogor: Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Pelczar MJ, Chan ESC. 1988. Dasar-Dasar Mikrobiologi 2. Ratna SH dkk, penerjemah. Jakarta: UI.

Perum Perhutani Unit Jawa Timur. 1986. Peningkatan kesejahteraan masyarakat Melalui pelebahan. Di dalam: Pembudidayaan Lebah Madu untuk Peningkatan Kesejahteraan Masyarakat. Prosiding Lokakarya; Sukabumi, 20-22 Mei 1986. Jakarta: Perum Perhutani. Hlm 293-302.

Rusiawato Y. 1991. Diet yang dapat merusak gigi pada anak-anak. Cermin Dunia Kedokteran (73): 45-47.

Salatino A, Erica WT, Giuseppina N, Dejair M. 2005. Origin and chemical variation of brazilian propolis. Evid Base Complement Alternat Med 2(2): 33-38.

Singh S. 1962. Beekeeping in India. New Delhi: Indian Council Agricultural Research.

Siswandono, Soekarhjo B. 1995. Kimia Medisinal. Surabaya: Airlangga.

Situmorang N. 2004. Dampak karies dan penyakit periodontal terhadap kualitas hidup, studi di dua kecamatan kota Medan [abstrak]. Jakarta: Program Pascasarjana Ilmu Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia.

Sosialsih L. 2002. Penambahan vitamin E dan ditergen terhadap sifat fisik dan daya antibakteri pasta gigi minyak atsiri daun sirih [skripsi]. Bogor:Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.

Sumoprastowo RM, Agus S. 1980. Beternak Lebah Madu Modern. Jakarta: Bharatara Karya Aksara.

Sundari, Koesomardijah, Nusratini. 1991. Minyak atsiri dalam pasta gigi stabilitas fisis dan antibakteri. Warta Tumbuhan Obat Indonesia 1(1): 5-6.

Suradikusumah E. 1989. Kimia Tumbuhan. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Teixera EC et al. 2005. Plant origin of green propolis: bee behavior, plant anatomy and chemistry. Evid Based Complement Alternat Med. 2(1): 85-92.

Walter JL. 1986. Role of Streptococcus mutans in human dental decay. American Society for Microbiology Vol ke- 50 (04): 353-370.

Woo KS. 2004. Use of bee venom and Propolis for apitherapi in Korea. Di dalam Proceeding of 7th Asian Apicultural Associatio Conference and 10th BEENET Symposium and Technofora; Los Banos, Februari 2004. Los Banos: Univ Philippines. Hlm: 311-315.

Yulia R. 2006. Kandungan tanin dan potensi antibakteri Streptococcus mutans daun teh var. Assamica pada berbagai tahap pengolahan. [skripsi]. Pogram Biokimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian

Yuyus R, Magdarina DA, Sintawati F. 2002. Karies gigi pada anak balita di 5 wilayah DKI tahun 1993. Cermin Dunia Kedokteran (134): 39-42. Bogor.

Lampiran 1. Nilai rendemen ekstrak propolis

Bobot propolis kasar = 150.68 gram
Pelarut = 1.25 L Etanol 70%
Bobot ekstrak propolis pekat = 12.84 gram

Rendemen = $\frac{bobot\ ekstrak\ propolis\ pekat}{bobot\ propolis\ kasar} \times 100\%$

= $\frac{12.84\ g}{150.68\ g} \times 100\%$

= 8.52%

Lampiran 2. Efektivitas antibakteri ekstrak propolis

Diameter zona bening ekstrak propolis = 12,75 mm
Diameter zona bening propolis komersil = 13,27 mm
Diameter zona bening ampisilin 10 mg/mL = 31,07 mm
Diameter zona bening larutan NaF 0.3% = 5,30 mm

Perhitungan:

- Efektivitas ekstrak propolis terhadap propolis merk X

  = $\frac{diameter\ ekstrak\ propolis}{diameter\ propolis\ merk\ X} \times 100\%$

  = $\frac{12.75\ mm}{13.27\ mm} \times 100\%$

  = 96.08%
- Efektivitas ekstrak propolis terhadap ampisilin 10 mg/mL

  = $\frac{diameter\ ekstrak\ propolis}{diameter\ ampisilin\ 10\ mg/mL} \times 100\%$

  = $\frac{12.75\ mm}{31.07\ mm} \times 100\%$

  = 41.04%
- Efektivitas ekstrak propolis terhadap NaF 3000 ppm

  = $\frac{diameter\ ekstrak\ propolis}{diameter\ NaF\ 3000\ ppm} \times 100\%$

  = $\frac{12.75\ mm}{5.30\ mm} \times 100\%$

  = 240.57%

Lampiran 3. Konsentrasi Hambat Tumbuh Minimum

Sampel	Diameter zona bening (mm)			
	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	Rata-rata
Ekstrak Propolis 100%	13,10	12,97	12,17	12,75
Ekstrak Propolis 50%	8,37	10,40	10,52	9,76
Ekstrak Propolis 25%	8.00	7,72	7,67	7,80
Ekstrak Propolis 12,5%	6,17	6,62	6,72	6,50
Ekstrak Propolis 6,25%	5,90	5,87	5,90	5,89
Ekstrak Propolis 3,13%	5,25	5,25	5,25	5,25
Ekstrak Propolis 1,56%	5,30	5,25	5,25	5,27
Akuades	5,30	5,20	5,25	5,25
Etanol 70%	5,20	5,20	5,30	5,23
Propilen glikol	5,30	5,30	5,25	5,28
NaF 3000 ppm	5,30	5,30	5,30	5,30
Ampisilin 10 mg/mL	27,15	30,42	35,65	31,07
Propolis merk X	13,57	14,45	11,80	13,27

Lampiran 4. ANOVA diameter zona bening

	Jumlah kuadrat	Db	Kuadrat tengah	F hitung	Sig.
Perlakuan	1863.259	12	155.272	91.606	.000
Galat	44.070	26	1.695		
Total	1907.329	38			

Lampiran 5. Analisis uji Duncan zona bening

Perlakuan	N	α= 0,05				
	1	2	3	4	5	1
Etanol 70%	3	5,23333				
Ekstrak propolis 3,13%	3	5,25000				
Akuades	3	5,25000				
Ekstrak propolis 1,56%	3	5,26667				
Propilen glikol	3	5,28333				
NaF 3000 ppm	3	5,30000				
Ekstrak propolis 6,25%	3	5,89167	5,89167			
Ekstrak propolis 12,5%	3	6,50833	6,50833			
Ekstrak propolis 25%	3		7,80000	7,80000		
Ekstrak propolis 50%	3			9,76667		
Ekstrak propolis 100%	3				12,75000	
Propolis merk X	3				13,27500	
Ampisilin 10 mg/mL	3					31,07500
Sig.		,309	,101	,076	,626	1,.000

Lampiran 6. Aktivitas antibakteri metode hitungan cawan

Sampel	Jumlah sel/mL			
	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	Rata-rata
Ekstrak Propolis 100%	$2,51 \times 10^6$	$3,01 \times 10^6$	$1,11 \times 10^6$	$2,21 \times 10^6$
Ekstrak saat KHTM	$1,31 \times 10^7$	$9,10 \times 10^6$	$2,82 \times 10^7$	$1,68 \times 10^7$
Akuades	$1,60 \times 10^8$	$3,10 \times 10^8$	$2,50 \times 10^8$	$2,40 \times 10^8$
Etanol 70%	$1,25 \times 10^8$	$1,70 \times 10^7$	$4,90 \times 10^7$	$6,37 \times 10^7$
Propilen glikol	$1,00 \times 10^6$	$3,00 \times 10^7$	$6,20 \times 10^7$	$3,10 \times 10^7$
NaF 3000 ppm	$5,50 \times 10^7$	$1,07 \times 10^8$	$3,50 \times 10^7$	$6,57 \times 10^7$
Propolis merk X	$2,45 \times 10^6$	$1,57 \times 10^6$	$5,80 \times 10^5$	$1,53 \times 10^6$
Ampisilin 10 mg/mL	$7,50 \times 10^5$	$1,84 \times 10^6$	$8,90 \times 10^5$	$1,16 \times 10^6$

Lampiran 7. ANOVA metode hitungan cawan

	Jumlah kuadrat	Db	Kuadrat tengah	F hitung	Sig.
Perlakuan	134859023595833300,000	7	192655747994047760,000	13,769	,000
Galat	223866672000000000,000	16	139916670000000000,000		
Total	157245690795833300,000	23			

Lampiran 8. Analisis uji Duncan metode hitungan cawan

Perlakuan	N	α= 0.05	
	1	2	1
Ampisilin 10 mg/mL	3	1160000,0000	
Propolis merk X	3	1533333,3333	
Ekstrak propolis 100%	3	2210000,0000	
Ekstrak propolis saat KHTM	3	16800000,0000	
Propilen glikol	3	31000000,0000	
Etanol 70%	3	63666666,6667	
NaF 3000 ppm	3	65666666,6667	
Akuades	3		240000000,0000
Sig.		,079	1,000

Lampiran 9 Aktivitas antibakteri metode turbidimetri

Sampel	Absorbansi			
	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	Rata-rata
Ekstrak Propolis 100%	0,081	0,107	0,310	0,166
Ekstrak saat KHTM	0,278	0,390	0,350	0,339
Akuades	0,516	0,552	0,540	0,536
Etanol 70%	0,596	0,557	0,457	0,537
Propilen glikol	0,455	0,506	0,453	0,471
NaF 3000 ppm	0,480	0,488	0,480	0,483
Propolis merk X	0,143	0,220	0,298	0,220
Ampisilin 10 mg/mL	0,020	0,118	0,263	0,134

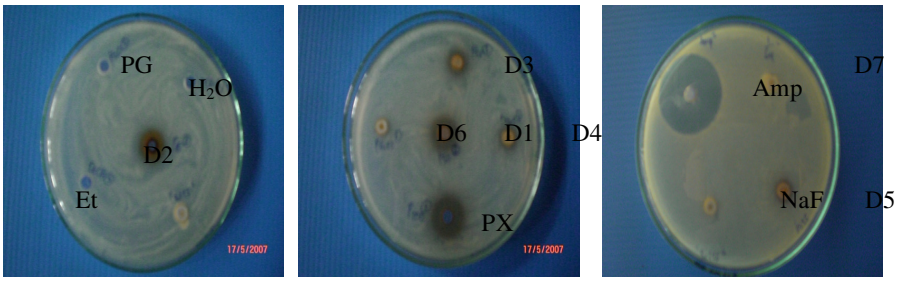
Lampiran 10 ANOVA metode turbidimetri

	Jumlah kuadrat	Db	Kuadrat tengah	F hitung	Sig.
Perlakuan	,595	7	,085	14,695	.000
Galat	,093	16	,006		
Total	,688	23			

Lampiran 11 Analisis uji Duncan metode turbidimetri

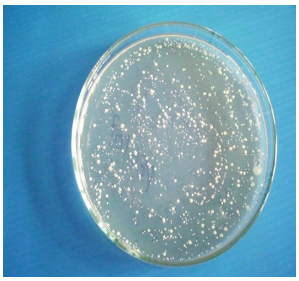
perlakuan	N	α=0,05		
	1	2	3	1
Ampisilin 10 mg/mL	3	,13367		
Ekstrak propolis 100%	3	,16600		
Propolis merk X	3	,22033	,22033	
Ekstrak Propolis saat KHTM	3		,33933	
Propilen glikol	3			,47133
NaF 3000 ppm	3			,48267
Akuades	3			,53600
Etanol 70%	3			,53667
Sig.		,204	,073	,348

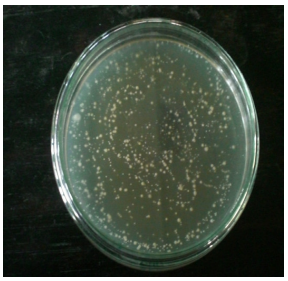
Lampiran 12. Diameter zona bening *S. mutans*

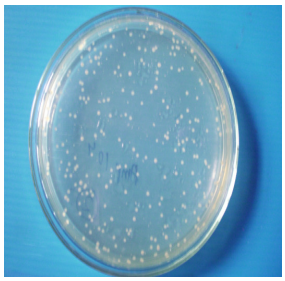


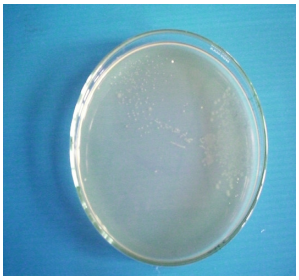
Keterangan: D1 = Ekstrak propolis 100%; D2= Ekstrak propolis 50%;
D3 = Ekstrak propolis 25%; D4 = Ekstrak propolis 12.5%;
D5 = Ekstrak propolis 6.25%; D6 = Ekstrak propolis 3.13%;
D7 = Ekstrak propolis 1.56%; H_2O = Akuades;
NaF = Natrium fluorida 3000 ppm;
Et = Etanol70%; PG = Propilen glikol;
Amp = ampisilin 10 mg/mL; PX= Propolis merk X

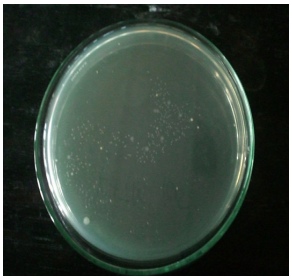
Lampiran 13. Koloni *S. mutans* pada metode hitungan cawan

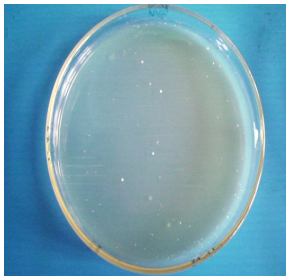

Akuades


NaF 3000 ppm

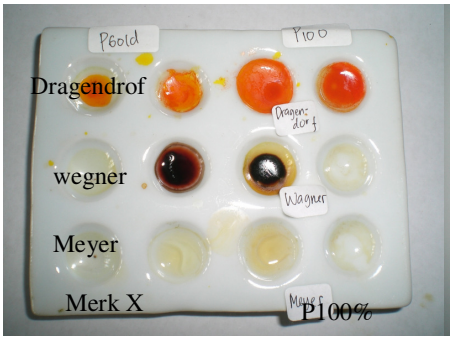

KHTM


Ekstrak propolis 100%

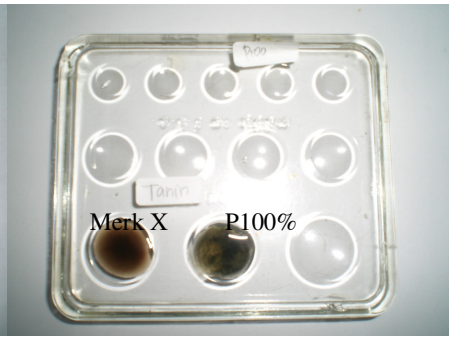

Propolis merk X


Ampisilin 10 mg/mL

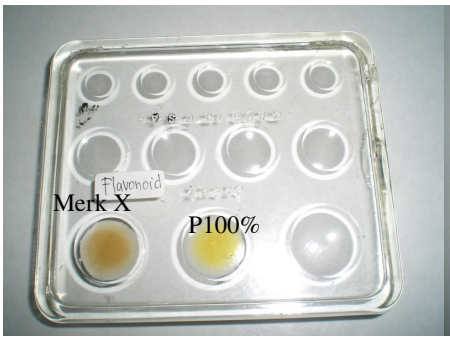
Lampiran 14. Hasil Analisis Uji fitokimia



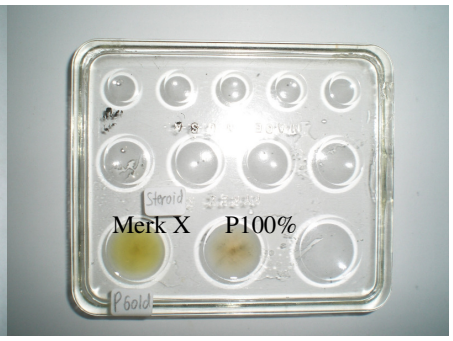
Alkaloid



Tanin



Flavonoid



Triterpenoid

EFIKASI FUMIGAN ALUMINIUM PHOSPHIDA TERHADAP RAYAP KAYU KERING *Cryptotermes cynocephalus* (Isoptera: Kalotermitidae)

Arinana, Yudi Rismayadi, Mustika Dewi

Departemen Hasil Hutan-Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmada Bogor 16680
Telp./Fax. 0251-8621285 Email: arinana@ipb.ac.id

Abstrak

Salah satu jenis rayap yang menyerang kayu dan sampai saat ini sulit dikendalikan adalah rayap kayu kering. Salah satu metode pengawetan kayu adalah dengan fumigasi. Keberhasilan fumigasi ditentukan oleh kemampuan gas fumigan dalam menembus pori-pori kayu dan daya racun fumigan terhadap serangga perusak. Contoh uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok kayu sengon dengan ukuran (10 x 10 x 40) cm^3 yang dipotong menjadi 2 bagian sama panjang. Untuk pengujian penetrasi gas fumigan, pada salah satu sisi potongan kayu di bor dengan kedalaman 10 cm dan diameter 0,5 cm dengan jarak dari permukaan atas adalah 1 cm, 3 cm dan 5 cm. Selanjutnya sebanyak 110 ekor rayap kayu kering *Cryptotermes cynocephalus* dimasukkan kedalam lubang uji dan balok kayu disatukan lagi dengan menggunakan lem dan dilakban menggunakan isolasi. Selanjutnya dilakukan proses fumigasi balok kayu uji dengan dosis 1,5 gr/m^3 pada suatu ruangan berukuran 200 cm x 200 cm x 200 cm. Untuk perlakuan kontrol dilakukan pengamatan terhadap balok kayu uji di luar ruang fumigasi.

Efektifitas fumigasi aluminium phosphida mulai bekerja pada periode 6 jam yaitu mencapai 800 ppm dan mencapai puncaknya pada periode 12 jam yaitu mencapai 1000 ppm yang bertahan pada periode 24 jam. Selanjutnya mulai menurun pada periode 48 jam dan dilakukan aerasi setelah 96 jam. Hasil pengujian menunjukkan dosis aplikasi 1,5 gr/m^3 dengan waktu pemaparan 96 jam mengakibatkan mortalitas rayap kayu kering *C. cynocephalus* yang berada di dalam lubang uji pada jarak 1 cm, 3 cm dan 5 cm dari permukaan kayu mencapai 100%. Sedangkan mortalitas rayap kayu kering pada perlakuan kontrol berturut-turut sebesar 12%, 9% dan 14%. Berdasarkan pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa aluminium phosphida mampu menembus pori-pori kayu dan bersifat toksik terhadap rayap kayu kering *C. cynocephalus*.

Kata kunci: fumigasi, aluminium phosphida, rayap kayu kering, *Cryptotermes cynocephalus*

1. PENDAHULUAN

Serangan rayap kayu kering (Ordo Isoptera: Kalotermitoidae) seringkali menjadi masalah pada produk-produk meubeler, *handycraft* dan kemasan kayu. Serangga ini hidup di dalam kayu sekaligus memanfaatkannya sebagai sumber makanan. Kayu yang terserang tidak mudah dikenali dari luar kecuali apabila terdapat butiran-butiran kecil berwarna putih kecoklatan yang keluar dari lubang gerek sebagai tanda adanya serangan rayap kayu kering (Nandika *et al.*, 2003).

Serangan rayap kayu kering dapat dihindari dengan tindakan pengawetan kayu pada bahan baku meubeler, *handycraft* atau kemasan kayu, namun apabila rayap kayu kering menyerang produk jadi seringkali tindakan pengawetan kayu menghadapi kendala teknis aplikasinya. Oleh karena itu tindakan fumigasi merupakan alternatif lain untuk eradikasi serangga perusak kayu yang tidak menimbulkan kerusakan atau cacat pada produk yang difumigasi.

Fumigasi merupakan cara yang umum digunakan untuk perlakuan eradikasi hama. Penggunaan teknik ini dikenal secara luas untuk keperluan eradikasi hama gudang, hama kayu, perlakuan pra perkapalan (*preshipment*) dan karantina. Pada saat ini, kepentingan perlakuan fumigasi untuk pengendalian hama kayu mengalami peningkatan yang cukup berarti seiring dengan ditetapkannya berbagai peraturan yang berlaku secara internasional. Sebagai contoh FAO-*Interim Commision for Phyto sanitary Measure* (ICPM) telah mengesahkan suatu standar (*International Standard for Phytosanitary Measure/ISPM*) untuk kemasan kayu atau lebih dikenal dengan ISPM # 15 (*Guidelines for Regulating Wood Packaging Material in International Trade*) pada bulan Maret 2002. ISPM # 15 mengatur keseragaman penanganan kemasan kayu (*harmonized regulation*), dan menghindari timbulnya aturan yang unilateral sehingga menghambat proses perdagangan internasional, serta aspek merugikan penggunaan kemasan kayu khususnya terkait dengan penyebaran organisme hama (serangga perusak kayu) antar daerah atau negara.

Di pihak lain, teknik fumigasi yang pada masa lalu mengandalkan metil bromida sebagai fumigan. Saat ini penggunaannya semakin dibatasi karena efeknya yang menimbukan kerusakan lapisan ozon. Penggunaan metil bromida telah dilarang untuk perlakuan-perlakuan eradikasi hama di luar kepentingan karantina dan pra-perkapalan. Perlakuan eradikasi hama pada gudang-gudang pangan, komoditas pertanian lain, gudang benih, perlakuan tanah, dan lain-lain, harus menggunakan bahan-bahan yang tidak bersifat merusak ozon. Fumigan tersebut salah satunya adalah Aluminium Phosphida.

Namun demikian informasi efikasi penggunaan Aluminium Phosphida terhadap serangga perusak kayu yang hidup didalam kayu dalam hal ini terkait dengan kemampuan penetrasinya kedalam pori-pori kayu masih terbatas. Padahal informasi tersebut sangat penting untuk memperkuat rekomendasi penggunaan Aluminium Phosphida untuk perlakuan eradikasi serangga perusak kayu.

Berdasarkan pemikiran tersebut, perlu dilakukan penelitian mengenai “Pengujian Efikasi Fumigan Aluminium Phosphida terhadap Serangga Rayap Kayu Kering *Cryptotermes cynocephalus* (Isoptera: Kalotermitidae)”. Tujuan penelitian ini adalah

untuk mengetahui efikasi fumigan aluminium phosphida terhadap serangga rayap kayu kering *C. cynocephalus* (Isoptera: Kalotermitidae) yang berada di dalam kayu. Secara spesifik tujuan penelitian ini adalah: 1) mengetahui tingkat mortalitas serangga rayap kayu kering *C. cynocephalus* (Isoptera: Kalotermitidae); 2) mengetahui kemampuan penetrasi fumigan Aluminium Phosphida pada pori-pori kayu.

2. BAHAN DAN METODE

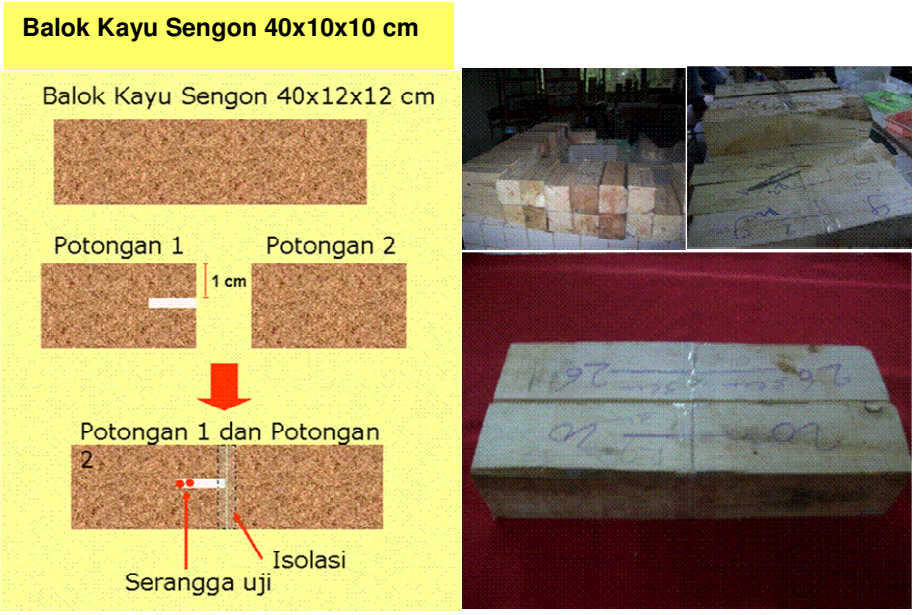
2.1. Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari aluminium phosphida, rayap kayu kering *C. cynocephalus* (Gambar 1), kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*), terpal plastik, lakban, selang, peralatan pengamanan fumigasi (sarung tangan, helm, masker fumigasi) dan peralatan monitoring gas (*accuro pump*, *tube* pengukur paparan gas, selang pengukur).

Gambar 1. Biakan Rayap Kayu Kering *C. cynocephalus*

2.2. Persiapan Contoh Uji Kayu

Contoh uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok kayu sengon dengan ukuran (10 x 10 x 40) cm^3 yang dipotong menjadi 2 bagian sama panjang. Untuk pengujian kemampuan penetrasi gas fumigan, pada salah satu sisi potongan kayu di bor dengan kedalaman 10 cm dan diameter 0,5 cm dengan jarak dari permukaan atas adalah 1 cm, 3 cm dan 5 cm. Jarak dari permukaan atas dalam penelitian ini sebagai perlakuan. Selanjutnya sebanyak 110 ekor rayap kayu kering *C. cynocephalus* (meliputi 100 ekor pekerja dan 10 ekor prajurit) dimasukkan kedalam lubang uji dan balok kayu disatukan lagi dengan menggunakan lem dan dilakban menggunakan isolasi. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 5 kali ulangan. Teknik peletakan serangga uji pada kayu sengon dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Teknik Peletakan Serangga Uji di dalam Balok Kayu Sengon

2.3. Aplikasi Fumigasi

Contoh uji kayu yang didalamnya telah dimasukkan rayap kayu kering dengan masing-masing perlakuan dimasukkan ke dalam ruang pengujian fumigasi kedap udara berbentuk kotak bujur sangkar dengan ukuran 2 m x 2 m x 2 m yang terbuat dari rangka kayu yang ditutup rapat pada enam sisinya oleh plastik transparan (Gambar 3).

Gambar 3. Ruang Uji Fumigasi

Sebelum dilakukan pelepasan gas, terlebih dahulu dibuat instalasi pipa (selang) plastik untuk memonitoring konsentrasi gas selama waktu papar. Selanjutnya dilakukan proses fumigasi balok kayu uji dengan memasukkan tablet phostoksin dengan dosis aplikasi 1,5 gr/m^3 area fumigasi. Setelah dilakukan pelepasan gas, dilakukan penutupan

lubang keluar dan menempelkan tanda peringatan pada ruang pengujian fumigasi. Untuk perlakuan kontrol, contoh uji kayu yang didalamnya telah dimasukkan rayap kayu kering dengan berbagai jarak dari permukaan diletakkan diluar ruang pengujian sehingga tidak terpapar oleh gas fumigan.

Monitoring (pemeriksaan) tekanan gas fumigan dalam ruangan dilakukan pada jam ke-6, ke-12, ke-24, ke-48, ke-72 dan jam ke-96. Monitoring ini dilakukan dengan alat *accuro pump* yang dihubungkan dengan ujung selang plastik sebagai indikator.

Setelah ruangan mendapat pemaparan gas fumigan selama 96 jam, dilakukan aerasi gas. Proses aerasi dilakukan dengan membuka pintu-pintu penutup agar gas keluar dari dalam ruangan. Proses ini dapat dibantu dengan blower dan dilakukan selama 24 jam. Setelah konsentrasi gas yang terbaca oleh accuro pump < 0,3 ppm maka dilakukan deaktifasi, dimana pada tahap ini ruangan sudah aman bagi manusia dan dapat masuk ke dalam ruangan tanpa menggunakan masker pelindung. Pada tahap ini Phosphin berubah menjadi abu, kemudian diambil, disimpan di dalam ember lalu direndam sampai tidak mengeluarkan buih dan dibuang.

2.4. Pengumpulan Data

Pengukuran konsentrasi gas dalam ruang fumigasi ditujukan untuk mengetahui tekanan gas dalam kegiatan fumigasi. Waktu pengukuran gas dilakukan selama 4 hari dengan selang waktu pengukuran adalah 6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 96 jam (aerasi).

Selain konsentrasi gas, juga dihitung angka kematian rayap yang dihitung pada saat pembongkaran dengan menggunakan persamaan Sornnuwat *et al*. (1995):

$$\text{Mortalitas (\%)} = \frac{N1 - N2}{N1} \times 100\%$$

$N1$: Jumlah rayap awal

$N2$: Jumlah rayap setelah di umpankan

Selanjutnya data mortalitas dianalisis dengan menggunakan uji beda nilai rataan antara rataan mortalitas rayap kayu kering yang difumigasi dengan rayap kayu kering yang tidak difumigasi.

2.5. Pengujian Pengaruh Residu Aluminium Phosphida

Untuk mengetahui pengaruh residu gas fumigan pasca fumigasi maka contoh kayu uji bekas pengujian fumigasi yang telah dihitung mortalitas rayap kayu kering yang ada didalamnya, digunakan lagi untuk pengujian efek residu fumigan pada kayu uji setelah sebelumnya dipaparkan di udara terbuka selama 24 jam.

Selanjutnya sebanyak 110 ekor rayap kayu kering *C. cynocephalus* (meliputi 100 ekor pekerja dan 10 ekor prajurit) dimasukkan kedalam lubang uji dan balok kayu disatukan lagi dengan menggunakan lem dan dilakban menggunakan isolasi. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 5 kali ulangan. Contoh uji kayu kemudian diletakkan di ruang uji yang telah hilang gas fumigannya. Setelah 7 hari, contoh uji dibongkar dan dihitung mortalitas rayap kayu keringnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengamatan Konsentrasi Gas Phosphine

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pelepasan gas fumigan telah mencapai puncaknya pada jam ke-12 dengan konsentrasi gas yang sangat tinggi yaitu 1000 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fumigasi yang paling efektif terjadi pada jam ke-12 dan ke-24. Hal ini menunjukkan adanya penguraian aluminium phosphida menjadi gas PH_3. Kondisi tersebut akibat terjadi reaksi antara bahan aktif fumigan dengan uap air yang berlangsung sempurna sehingga terjadi pelepasan gas phosphin dan ruang uji yang kedap udara sehinga gas phosphin yang dilepaskan tidak ada yang keluar dari ruang uji. Sedangkan pada periode berikutnya yakni 48 dan 72 jam sudah berkurang sesuai hasil pengukuran dengan gas detektor. Menurunnya kandungan gas phosphin terjadi akibat reaksi hidrolisa gas PH_3.

Tabel 1. Konsentrasi Gas Phosphine Selama Proses Fumigasi

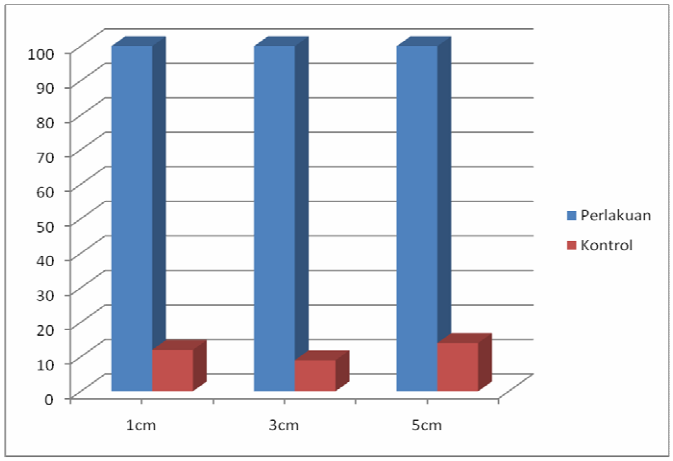
Periode Pengamatan (jam)	Konsentrasi Gas (ppm)
6	600
12	1000
24	1000
48	900
72	860
98	Aerasi

Kandungan gas yang tinggi selama proses fumigasi sangat menguntungkan untuk mengeradikasi hama sasaran. Berdasarkan standar aplikasi fumigasi untuk tembakau diperlukan konsentrasi minimum sebesar 200 ppm selama enam hari (Anonim, 2001).

3.2. Mortalitas Rayap Kayu Kering

Hasil pengujian efikasi gas phosphin terhadap rayap kayu kering *C. cynocephalus* yang berada dalam contoh uji kayu sengon pada kedalaman 1 cm, 3 cm dan 5 cm dari permukaan kayu mencapai 100%. Ini berarti bahwa gas phosphin mampu menembus pori-pori kayu sengon sampai ketebalan 5 cm dan memiliki daya racun terhadap serangga perusak kayu dalam hal ini rayap kayu kering. Tingkat kematian

tersebut terjadi pada dosis aplikasi 1,5 gr/m^3 dengan waktu pemaparan 96 jam. Sementara itu pada kontrol (kayu uji yang berada di luar ruang uji) mengalami mortalitas berturut-turut sebesar 12%, 9% dan 14%. Mortalitas pada kontrol masih dianggap tidak mempengaruhi terhadap hasil karena masih di bawah 15% yang menurut komisi pestisida (1995) masih dianggap aman. Hasil selengkapnya disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mortalitas Rayap Kayu Kering pada Setiap Perlakuan

Gas phosphin bersifat toksik terhadap rayap kayu kering *C. cynocephalus*, yang masuk kedalam tubuh serangga melalui sistem pernafasan. Selanjutnya gas tersebut akan merusak sistem syaraf rayap kayu kering sehingga serangga terpapar oleh gas tersebut dan akan mengalami masa eksitasi, yaitu bergerak cepat secara tidak beraturan, kemudian akan mengalami kelumpuhan (paralisis) dan akhirnya mengalami kematian (Tarumingkeng, 1992).

Kematian rayap kayu kering *C. cynocephalus* yang berada di dalam kayu menunjukkan bahwa gas phosphin mampu masuk ke dalam kayu melalui pori-pori yang terdapat di dalam kayu. Menurut Bowyer *et al*. (1982) kayu tersusun dari sel-sel yang telah mati sehingga pada bagian tengah sel akan berbentuk rongga, bahkan antar dinding sel pun terdapat rongga penghubung (noktah). Oleh karena itu kayu bersifat porus sehingga memungkinkan terjadinya aliran bahan berwujud cair apalagi gas ke dalam kayu. Karakteristik kayu tersebut menyebabkan fumigan mampu menjangkau organisme sasaran sekalipun berada di dalam kayu. Selain itu kayu sengon yang digunakan dalam penelitian ini termasuk kayu ringan dengan berat jenis rata-rata 0,33 dan tergolong dalam kelas kuat IV – V (Mandang dan Pandit, 1997). Hal ini memungkinkan gas phosphin lebih mudah memasuki pori-pori kayu sengon.

Hasil uji beda nilai rataan, terdapat perbedaan yang sangat nyata antara kontrol dengan perlakuan fumigasi artinya bahwa perlakuan fumigasi efektif mengeradikasi rayap

kayu kering baik yang berada dalam kayu dengan ketebalan 1 cm, 3 cm ataupun 5 cm dari permukaan kayu.

3.3. Pengujian Pengaruh Residu Aluminium Phosphida

Hasil pengujian pengaruh residu aluminium phosphida pada kayu sengon menunjukkan bahwa fumigasi dengan menggunakan gas phosphin mengakibatkan mortalitas rayap kayu kering sebesar 7%, 10% dan 4% pada berbagai jarak dari permukaan kayu seperti terlihat pada Tabel 2. Atau dapat dikatakan bahwa lebih dari 90% rayap kayu kering yang diumpankan pasca fumigasi dapat bertahan hidup.

Tabel 2. Pengaruh Residu gas PH_3 pada Rayap Kayu Kering *C. cynocephalus*

Jarak dari Permukaan (cm)	Mortalitas (%)
1	7
3	9
5	5

Dari hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa fumigan dengan menggunakan gas phosphin tidak meninggalkan residu pada kayu yang telah difumigasi. Oleh karena itu kayu pasca fumigasi harus dilindungi sedemikian rupa sehingga terhindar dari reinfestasi hama kembali.

Berdasarkan pengujian tersebut, pada kondisi alamiah di lapangan kayu-kayu yang telah difumigasi besar kemungkinan akan terserang kembali oleh rayap kayu kering apabila kayu-kayu tersebut tidak ditempatkan di lokasi yang steril dari serangga perusak kayu atau tidak diikuti dengan tindakan perlindungan kayu melalui aplikasi pengawetan kayu yang memberikan efek residual sehingga mampu menolak reinfestasi baru. Kondisi ini dapat dijelaskan munculnya kejadian dimana kayu yang telah difumigasi akan kembali terserang rayap kayu kering. Disamping itu, munculnya kembali serangan rayap kayu kering pasca fumigasi dapat terjadi apabila fumigasi dengan menggunakan fumigan tertentu tidak diaplikasikan pada dosis dan waktu pemaparan yang tepat.

4. KESIMPULAN DAN PROSPEK

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pelepasan gas Phosphin sudah mencapai puncaknya pada jam ke-12 dan mulai menurun pada jam ke-48 namun hingga jam ke-98 konsentrasi gas Phosphin masih sangat tinggi di atas konsentrasi minimum yang distandarkan yaitu 200 ppm.

2. Mortalitas rayap kayu kering yang berada di dalam kayu sengon dengan kedalaman 1 cm, 3 cm dan 5 cm dari permukaan kayu mencapai 100% sementara kontrol di bawah 15%. Hal tersebut menunjukkan bahwa gas Phosphin mampu menembus pori-pori kayu sengon dan memiliki daya racun terhadap rayap kayu kering.
3. Gas Phosphin tidak meninggalkan residu di dalam kayu sehingga aman bagi manusia.

4.2. Prospek

1. Fumigan Aluminium Phosphida efektif mengeradikasi serangga rayap kayu kering (*C. cynochepalus*) yang berada di dalam kayu.
2. Masih diperlukan penelitian mengenai pengaruh kerapatan kayu, kadar air, dan posisi serangga uji di dalam kayu terhadap efektivifitas fumigasi. Di samping itu pengujian pada serangga lain, khususnya kumbang atau bubuk kayu kering sangat diperlukan mengingat serangga tersebut menjadi hama utama pada kemasan kayu dan produk-produk meubeler atau *handycraft*.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 1995. Metoda Standar Pengujian Efikasi Pestisida. Komisi Pestisida - Departemen Pertanian. Jakarta.

Anonim. 2001. Standar Aplikasi Fumigasi. Jakarta: PT Berdikari (Persero).

Bowyer Jl, Shmulsky R, Haygreen JG. 1982. Forest Products and Wood Science. Ed ke-4. Amerika: lowa State University Press.

Mandang YI, Pandit IKN. 1997. Pedoman Identifikasi Kayu di Lapangan. Yayasan Prosea dan Pusat Diklat Pegawai dan SDM Kehutanan Bogor.

Nandika D, Rismayadi Y, Diba F. 2003. Rayap: Biologi dan Pengendaliannya. Surakarta: Muhammadiyah University Press.

Sornnuwat Y. 1996. Resistance of commercial timber and fast growing timber of Thailand for building construction to *Coptotermes gestroi* Wasmann. Proc. The 1996 Annual Meeting of The International Research Group on Wood Preservation, Stockholm Sweden

Tarumingkeng RC. 1992. Insektisida: Sifat, Mekanisme Kerja dan Dampak Penggunaannya. Jakarta: Universitas Kristen Krida Wacana.

PENGARUH PENGENCER SUSU KEDELAI DENGAN PENAMBAHAN FRUKTOSA TERHADAP MOTILITAS DAN DAYA TAHAN HIDUP SPERMATOZOA PADA SEMEN CAIR DOMBA (*Ovis aries*)

The Influence of Soy Milk Extenders with Fructose Added to Sperm Motility and Viability at Ram (*Ovis aries*) Liquid Semen

Elsa Lisanti, Nurmasari S, Maria Ulfa[1], Herdis[2]

[1]Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Jakarta
Kampus B, Jl. Pemuda No. 10 Jakarta Timur 13220
Email : elsa_lisanti@yahoo.com

[2] Gedung BPPT II Lantai 16, Jl. M.H. Thamrin No. 8 Jakarta 10340

Abstract

The aim of this research was to determine the influence of soy milk extenders with fructose added to motility and viability at ram liquid semen.The research was used one extender with different fructose added, there are soy milk as a control, soy milk with fructose 0.02 gr; 0.04 gr; and 0.06 gr added. Progressive motility and sperm viability rate were evaluated untill the fourth day, storage at 5°C. This research was used fully randomized design with four treatment and four replication. The data were analyzed with ANOVA and followed by Least Significant Difference (LSD) comparisons. Result indicated that average percentage of sperm progressive motile at 1st and 3rd days for soy milk, soy milk with fructose 0.02 gr; 0.04 gr; and 0.06 gr added didn't showed significant difference ($P > 0.05$). But at 2nd day, soy milk (control), soy milk with fructose 0.04 gr showed significant difference with soy milk added with fructose 0.02 gr ($P < 0.05$) and 4th day, soy milk (control) with soy milk with fructose 0.02 gr added showed significant difference ($P < 0.05$). Percentage of viability sperm until day-4 didn't showed significant difference ($P > 0.05$). The conclusions were soy milk, soy milk with fructose 0.02 gr; 0.04 gr; and 0.06 gr could used as an alternative extenders for ram liquid semen. The soy milk extenders with fructose 0.04 gr and 0.06 gr added were gave the better result for maintained the sperm motility compared with fructose 0.02 gr added. Fructose added in soy milk extenders were not influenced the viability but less influenced the sperm motility at 2nd and 4th days

Key words : soy milk, fructose, sperm extenders, motility and viability

1. PENDAHULUAN

Ternak lokal atau asli Indonesia merupakan salah satu kekayaan nasional yang tidak kecil artinya, baik dilihat dari segi sumber pendapatan, sumber protein hewani yang murah dan mudah, maupun sebagai sumber tenaga kerja. Banyak diantara ternak lokal atau asli Indonesia yang perkembangannya tidak terlalu menggembirakan, bahkan bila tidak segera ditangani dikhawatirkan mengalami kepunahan. Upaya untuk mempertahankan kelestarian dan kemurnian ternak asli perlu ditangani, karena dalam

jenis ternak asli mungkin terkandung gen-gen yang belum tentu dimiliki oleh jenis-jenis ternak impor.

Salah satu diantara plasma nutfah hewani yang perlu dipertahankan eksistensinya adalah ternak domba. Ternak domba mempunyai banyak keuntungan dibanding dengan ternak ruminansia yang lain, terutama bagi petani kecil, yaitu mampu mendayagunakan sumber hijauan yang tidak berguna secara lebih efisien, ukurannnya lebih kecil, cepat dewasa kelamin dan mudah beradaptasi.

Dalam usaha pengembangbiakan domba, adanya keterbatasan jumlah pejantan unggul menyebabkan perlunya suatu penerapan teknologi reproduksi pada domba. Sampai saat ini, kegiatan Inseminasi Buatan (IB) adalah salah satu alternatif yang dapat dilakukan. Dalam rangkaian kegiatan IB, ejakulat yang diperoleh dari pejantan harus diencerkan terlebih dahulu dengan pengenceran tertentu yang telah ditetapkan (Mulyono, 2000), agar ejakulat tersebut dapat didistribusikan ke beberapa betina sekaligus.

Suatu bahan pengencer semen yang baik seyogyanya murah, sederhana, praktis dibuat dan memiliki daya preservasi yang tinggi. Guna memenuhi kebutuhan ini, maka telah dilakukan berbagai cara dalam mencari jenis komposisi pengencer yang tepat untuk mengencerkan semen domba. Selama ini, jenis pengencer yang biasa digunakan adalah pengencer yang bersifat kimiawi dan mengandung unsur-unsur yang berfungsi sebagai sumber energi, buffer, mempertahankan tekanan osmotik dan keseimbangan elektrolit, melindungi terhadap *cold shock* (kejutan dingin), mencegah pertumbuhan kuman dan memperbanyak volume. Pada penelitian-penelitian sebelumnya didapatkan bahan pengencer yang tepat untuk semen domba yaitu tris kuning telur yang mengandung garam dan asam amino.

Susu kedelai yang merupakan cairan hasil ekstraksi protein biji kedelai dengan menggunakan aquabidest dijadikan perlakuan pada penelitian ini karena memiliki kandungan nutrisi yang dibutuhkan oleh spermatozoa dan bernilai ekonomis yang tinggi serta mudah didapat. Penambahan fruktosa pada susu kedelai menyebabkan kombinasi pengencer lebih lengkap karena fruktosa berfungsi sebagai sumber energi bagi spermatozoa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh susu kedelai dengan penambahan fruktosa sebagai pengencer terhadap motilitas dan daya tahan hidup spermatozoa pada semen cair domba (*Ovis aries*).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Budidaya Peternakan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dan Peternakan Domba Laga Lesan Putra, Pagelaran, Ciomas, Bogor pada bulan Desember 2006.

Kegiatan dibagi dalam lima tahap yaitu pembuatan pengencer, penampungan semen, evaluasi semen, penyimpanan semen serta pengamatan semen cair selama empat hari. Metodologi yang digunakan adalah metode eksperimental dengan melihat motilitas dan daya tahan hidup spermatozoa. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan yaitu pengencer susu kedelai (kontrol), susu kedelai dengan penambahan fruktosa 0,02 gr; 0,04 gr; dan 0,06 gr dengan empat ulangan, serta 1 domba pejantan untuk ditampung semennya.

Evaluasi terhadap motilitas spermatozoa dilakukan dengan meneteskan semen cair pada gelas objek kemudian ditutup dengan gelas penutup lalu diamati dibawah mikroskop dengan pembesaran 400 kali. Penentuan kualitas semen berdasarkan motilitas spermatozoa dilakukan sebagai berikut:

a. 0%, tidak ada gerakan spermatozoa.
b. Spermatozoa progresif kurang dari 30%, gerakan lemah dan lambat.
c. Spermatozoa progresif antara 20% - 50%, gerakan sedang.
d. Spermatozoa progresif antara 50% - 75%, gerakan cepat.
e. Spermatozoa progresif antara 70% - 80%, gerakan sangat cepat.
f. Spermatozoa progresif diatas 80%, gerakan begitu cepat sehingga sulit untuk melihat individu spermatozoa.

Pemeriksaan persentase hidup dan mati dilakukan dengan meneteskan semen dalam gelas obyek kemudian diteteskan pewarna Eosin 2% dan dicampur secara merata dengan menggunakan gelas obyek lain yang steril. Sesudah dibuat preparat ulas kemudian segera difiksasi. Pemeriksaan dilakukan di bawah mikroskop dengan pembesaran 400 kali. Spermatozoa yang hidup tidak akan terwarnai oleh Eosin 2% sedangkan spermatozoa yang mati akan terwarnai menjadi merah atau merah muda karena permeabilitas dinding sel tinggi sehingga zat pewarna eosin 2% dapat menembus dinding spermatozoa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Semen Segar

Pemeriksaan karakteristik semen segar domba dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kualitas dari semen tersebut dan untuk menentukan kadar pengencer yang

akan digunakan. Hasil pemeriksaan memperlihatkan bahwa rataan nilai sifat-sifat semen segar domba yang diperoleh selama penelitian cukup baik (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik Semen Segar

No	Parameter	Ukuran
1	Volume (mL)	1
2	Warna	Krem
3	Konsistensi	Kental
4	pH	7,1
5	Gerakan Massa	+++
6	Konsentrasi spermatozoa (10^6/mL)	4120
7	Motilitas (%)	75
8	Hidup (%)	90
9	Abnormalitas (%)	3,01

Volume semen segar yang diperoleh selama penelitian pada domba garut (1 mL) berada dalam kisaran normal (Garner dan Hafez, 2000). Secara umum warna semen hasil penampungan adalah krem dengan konsistensi kental. Hal ini sesuai dengan pendapat Toelihere (1993) yang menyatakan bahwa semen domba yang normal berwarna krem akan mempunyai konsistensi yang kental. Ax *et al*., (2000) menambahkan, bahwa semen domba yang berwarna krem memiliki konsentrasi berkisar antara 3500-4500 juta/mL, ini berarti sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan konsentrasi semen sebesar 4120 juta/mL.

Menurut Toelihere (1993), semen yang baik mempunyai kisaran pH 5,9-7,3. Hasil penelitian menunjukkan pH semen sebesar 7,1, hal ini berarti kualitas semen yang ditampung cukup baik karena sesuai dengan kisaran tersebut. Spermatozoa memiliki kecenderungan untuk bergerak bersama-sama ke satu arah dan berkelompok dengan membentuk gelombang-gelombang yang tebal ataupun tipis. Dari pengamatan, diketahui bahwa gerakan massa spermatozoa secara umum adalah +++. Menurut Toelihere (1993), penilaian +++ berarti sangat baik, dengan gelombang awan hitam yang bergerak cepat berpindah tempat. Secara individu, gerakan atau motilitas spermatozoa yang diamati adalah yang progresif atau bergerak maju.

Persentase motilitas spermatozoa semen segar yang diperoleh selama penelitian adalah 75%. Nilai tersebut pada domba masih dalam kisaran normal yaitu 50 – 80% (Toelihere, 1993). Persentase hidup spermatozoa domba pada penelitian ini adalah 90%. Abnormalitas spermatozoa pada penelitian ini adalah sebesar 3,01%. Menurut Evans dan Maxwell (1987), persentase abnormalitas semen domba sebaiknya <15%, karena domba yang memiliki abnormalitas >15% menunjukkan gejala infertilitas dan tidak dapat digunakan untuk inseminasi buatan.

3.2. Persentase Motilitas Progresif Setelah Pengenceran

Motilitas atau daya gerak spermatozoa digunakan sebagai ukuran kesanggupan untuk membuahi sel telur (Ax *et al*., 2000). Perkiraan motilitas adalah prosedur visual dan dinyatakan secara komparatif, tidak mutlak. Motilitas spermatozoa di dalam suatu contoh semen ditentukan secara keseluruhan atau sebagai rata-rata dari suatu populasi spermatozoa.

Tabel 2. Rataan Motilitas Spermatozoa

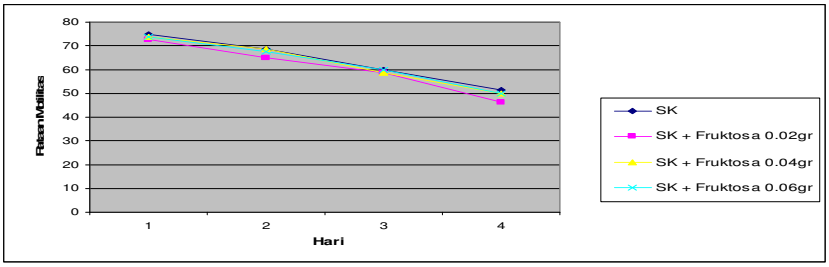
No	Jenis pengencer	Rataan motilitas hari ke- (%)			
		1	2	3	4
1	SK	75[a]	68,75[a]	60[a]	51,25[b]
2	SK+F0,02	72,5[a]	65[b]	58,75[a]	46,25[a]
3	SK+F0,04	73,75[a]	68,75[a]	58,75[a]	50[ab]
4	SK+F0,06	73,75[a]	67,5[ab]	60[a]	50[ab]

Keterangan : Huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata (P> 0,05)
SK = Susu Kedelai
F = Fruktosa (gr)

Pada Tabel 2 terlihat bahwa pada hari pertama dan ketiga tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antar semen domba dalam bahan pengencer susu kedelai dengan penambahan fruktosa 0,02 gr; 0,04 gr; dan 0,06 gr (P>0,05). Pada hari kedua pengencer susu kedelai (kontrol), susu kedelai fruktosa 0,04 gr dan 0,06 gr menunjukkan hasil tidak berbeda nyata. Namun pengencer susu kedelai (kontrol) dan susu kedelai fruktosa 0,04 gr berbeda nyata dengan susu kedelai 0,02 gr.

Pada hari keempat pengencer susu kedelai dengan fruktosa 0,02 gr menunjukkan perbedaan yang nyata dengan pengencer susu kedelai (kontrol) (P<0,05). Namun pengencer susu kedelai dengan fruktosa 0,02 gr, susu kedelai dengan fruktosa 0,04 gr dan 0,06 gr tidak menunjukkan perbedaan yang nyata (P>0,05). Dan pengencer susu kedelai (kontrol) dengan susu kedelai fruktosa 0,04 gr dan 0,06 gr menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata (P>0,05).

Menurut Hardjopranjoto (1995), lama hidup sel spermatozoa terbatas pada persediaan energi yang melindungi dan yang terkandung di dalam tubuhnya. Susu kedelai mengandung lesitin yang berfungsi untuk melindungi dan mempertahankan integritas selubung lipoprotein spermatozoa. Selain itu penambahan fruktosa berperan sebagai sumber energi yang dapat dimanfaatkan spermatozoa untuk mempertahankan daya hidup dan motilitasnya (Toelihere, 1993).



Gambar 1. Grafik Rataan Motilitas Spermatozoa

Penurunan persentase motilitas setiap hari (Gambar 1) diduga karena semakin meningkatnya sisa metabolisme dalam sel sehingga zat metabolit akan merusak organel sel dan akibatnya energi untuk pergerakan spermatozoa yang dihasilkan oleh organel seperti mitokondria akan berkurang dan motilitas menjadi menurun.

3.3. Persentase Daya Tahan Hidup Spermatozoa Setelah Pengenceran

Seperti halnya motilitas, daya hidup spermatozoa juga menurun selama penyimpanan (Gambar 3). Hari pertama sampai keempat menunjukkan bahwa rataan hidup tidak berbeda nyata antar perlakuan, maupun antar perlakuan dan kontrol (P>0,05). Penelitian menunjukan selama empat hari penyimpanan secara umum kemampuan pengencer susu kedelai fruktosa 0,04 gr dalam mempertahankan daya hidup spermatozoa domba lebih baik jika dibandingkan dengan susu kedelai, susu kedelai fruktosa 0,02 gr dan susu kedelai fruktosa 0,06 gr, walaupun secara statistik tidak berbeda nyata (P>0,05) (Tabel 3). Secara umum, kandungan susu kedelai dapat mempertahankan daya hidup spermatozoa, karena susu kedelai mengandung lesithin yang dapat melindungi spermatozoa dari *cold shock* (Toelihere, 1993).

Tabel 3. Rataan Daya Tahan Hidup Spermatozoa

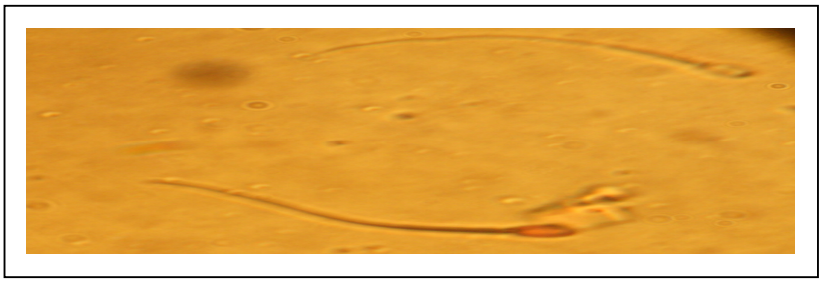
No	Jenis pengencer	Rataan hidup hari ke- (%)			
		1	2	3	4
1	SK	85,25[a]	79,5[a]	74,25[a]	69,25[a]
2	SK+F0,02	85,75[a]	81,25[a]	76,5[a]	71,75[a]
3	SK+F0,04	87[a]	82,5[a]	76,5[a]	72,25[a]
4	SK+F0,06	86,25[a]	79,5[a]	77[a]	72[a]

Keterangan : Huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata (P>0,05)
SK = Susu Kedelai
F = Fruktosa (gr)

Teori yang menjelaskan terjadinya mekanisme penyerapan zat warna oleh spermatozoa dijelaskan oleh Feradis (1999) melalui suatu mekanisme pompa natrium. Sudah diketahui bahwa konsentrasi ion Na^+ di luar sel lebih tinggi daripada di dalam sel,

sedangkan konsentrasi ion K^+ diluar sel lebih rendah daripada di dalam sel. Sel spermatozoa kemudian akan menjalankan fungsinya menjaga keseimbangan kadar Na^+ dan K^+ di luar dan di dalam sel, dengan jalan mengeluarkan ion-ion Na^+ keluar sel dan memasukkan ion-ion K^+ ke dalam sel. Eosin yang berikatan dengan natrium akan masuk ke dalam sel.

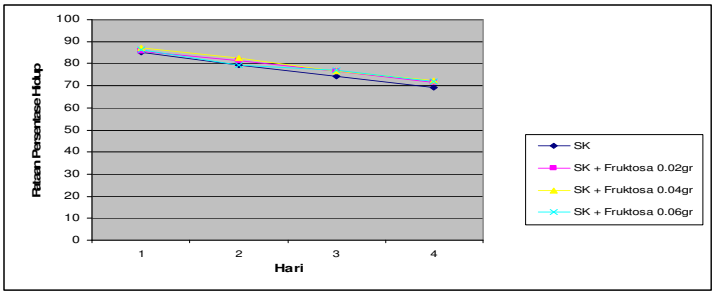
Pada spermatozoa hidup (Gambar 2), ikatan tadi akan dipompakan kembali keluar karena konsentrasi natrium dalam sel yang hidup lebih rendah sehingga spermatozoa tetap tidak berwarna, sedangkan pada spermatozoa yang mati (Gambar 2) karena aktivitas pompa natrium sudah berhenti maka eosin akan diserap oleh spermatozoa.



Gambar 2. Penilaian Spermatozoa dengan Pewarnaan Differensial

Keterangan : d = spermatozoa mati (terwarnai)
l = spermatozoa hidup (tidak terwarnai)

Penurunan daya hidup spermatozoa selama penyimpanan diakibatkan oleh tertimbunnya asam laktat sebagai produk akhir metabolisme anaerobik. Asam laktat dalam konsentrasi yang tinggi akan menurunkan pH pengencer yang mengakibatkan terganggunya proses metabolisme dan berakhir dengan kematian spermatozoa.



Gambar 3. Grafik Rataan Daya Tahan Hidup Spermatozoa

Hasil penelitian menunjukkan semakin lama penyimpanan semakin tinggi penurunan persentase hidup (Gambar 3), namun secara statistik tidak berbeda nyata. Penurunan persentase daya tahan hidup spermatozoa bisa disebabkan karena dua faktor. Pertama, semakin tingginya konsentrasi asam laktat, dan kedua semakin banyaknya spermatozoa yang mati. Kedua faktor ini secara bersama-sama akan semakin memperburuk kondisi pengencer sehingga berakibat buruk terhadap daya hidup spermatozoa.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

1. Pada dasarnya susu kedelai dengan penambahan fruktosa 0,02 gr; 0,04 gr; dan 0,06 gr dapat digunakan sebagai pengencer alternatif untuk mengencerkan semen domba.
2. Pengencer susu kedelai dengan penambahan fruktosa 0,04 gr dan 0,06 gr memberikan hasil yang lebih baik dalam mempertahankan motilitas spermatozoa dibandingkan penambahan fruktosa 0,02 gr.
3. Penambahan fruktosa pada pengencer susu kedelai tidak berpengaruh terhadap daya tahan hidup tetapi berpengaruh terhadap motilitas spermatozoa pada hari kedua dan keempat.

4.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan media pengencer lain.

DAFTAR PUSTAKA

Ax, R. L, M. R Dally, B.A. Didion, R. W. Lenz, C. C. Love, D.D. Varner, B. Hafez and M. E. Bellin. 2000. *Semen Evaluation*. In: Hafez, E. S. E and B. Hafez (Edt). Reproduction in Farm Animals. 7th Ed. Lipincott Williams & Wilkins, Baltimore.

Bearden, H. J. and J. W. Fuquay. 2000. Applied Animal Reproduction. 4th Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River: New Jersey.

Carver D. A, Ball B. A. 2002. Lipase Activity in Stallion Seminal Plasma and The Effect of Lipase on Stallion Spermatozoa During Storage 5OC. Theriogenology 58 (8): 1587-1595.

Evans, G. dan W. M. C. Maxwell. 1987. Salamon's Artificial Insemination of Sheep and Goats. Butterworths: Sydney.

Feradis. 1999. Penggunaan Antioksidan dalam Pengencer Semen Beku dan Metode Sinkronisasi Estrus pada Program IB Domba S. Croix. Disertasi Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor: Bogor.

Garner, D. L. dan Hafez. E. S. E. 2000. Spermatozoa and Seminal Plasma. Di dalam Hafez E. S. E dan Hafez B, editor. Reproduction in Farm Animals. Ed. Ke-7. Lipincott Williams and Wilkins: USA. Hlm 96-109

Hardjopranjoto, S. 1995. Ilmu Kemajiran Pada Ternak. Airlangga University Press: Surabaya.

Herdis, M.R. Toelihere, I Supriatna, B. Purwantara dan RTS. Adikara. 2005. Optimalisasi Kualitas Semen Cair Domba Garut (Ovis aries) melalui Penambahan Maltosa ke Dalam Pengencer Semen Tris Kuning Telur. Media Kedokteran Hewan. Volume 21 Nomor 2. Universitas Airlangga: Surabaya. 88-93.

Mulyono, S. 2000. Teknik Pembibitan Kambing dan Domba. Penebar Swadaya: Jakarta.

Toelihere, M.R.1993. Fisiologi Reproduksi pada ternak. Angkasa Bandung.

Toelihere, M.R.1993. Inseminasi Buatan pada ternak. Angkasa Bandung.

DAYA KULTUR ANTERA GENOTIPE PADI SAWAH
Oryza sativa L. *Subsp. Indica*

ANTHER CULTURABILITY OF SUBMERGENCE RICE GENOTYPES
Oryza sativa L. Subsp. indica

PRIATNA SASMITA

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Jl. Raya Sukamandi 9 Subang-41256,
Telp. 0260 520157, E-mail*: priatnasasmita@yahoo.com*

Abstract

A study on anther culture of submergence rice *O. sativa* L. subsp. *indica* was conducted at the Indonesian Center for Rice Research, Sukamandi, West Java during the period of February to August 2008. The objective of the study was to investigate the anther culturability of several submergence rice genotypes as materials for developing submergence rice doubled haploid lines by anther culture technique. The experiment was arranged in completely randomized design with 10 replications. The treatments consisted of nine submergence genotypes of subspecies indica, i.e. IRBB66, Basmati-370, BPT164C-88-7-3-2, BP1356-16-KN-4, Rojolele, Cigeulis, Fatmawati, Celebes, BP9454F-20-1-B, and two genotypes of subspesies *japonica* i.e. Taiken-9 dan T-309 as control. The result of the the study showed that the anther culturability of submergence rice were different significantly among genotypes. The genotypes those have antheraculturability were Basmati, Rojolele, Cigeulis, Fatmawati, Cilebes, Taiken-9 dan T-309.

Keywords: Submergence rice, anther culturability, anther culture of F1, new line

1. PENDAHULUAN

Program pemuliaan padi konvensional memerlukan dukungan teknologi cepat dan efisien. Dukungan ini sangat diperlukan untuk memenuhi ketersediaan varietas unggul secara berkesinambungan mengingat secara konvensional perakitan suatu varietas memerlukan waktu cukup lama yaitu hingga 5-10 tahun. Selain itu, pemakaian suatu varietas secara luas dan dalam jangka panjang serta terjadinya perubahan ekosistem budidaya menyebabkan munculnya biotipe hama dan ras penyakit baru di lapangan. Percepatan perakitan dan atau perbaikan suatu varietas perlu dilakukan agar dapat menyediakan berbagai varietas unggul baru yang sesuai dengan kondisi ekosistem budidaya serta preferensi konsumen.

Pembentukan galur-galur haploid ganda (galur murni) dari populasi dasar F-1 melalui kultur antera merupakan salah satu metode alternatif dalam upaya percepatan perakitan dan atau perbaikan suatu varietas unggul (Niizeki, 1997). Melalui teknik

tersebut sel polen dapat diinduksi menjadi embryo selanjutnya diregenerasikan menjadi planlet yang dapat tumbuh dan berkembang menjadi tanaman haploid ganda (galur murni). Sel polen atau sel gamet jantan yang berasal dari sel induk gamet jantan (mikrospor) F-1 yang memiliki struktur kromosom diploid (2n). Pada pembentukan gamet melalui pembelahan miossis, sel mikrospor membelah menjadi 4 sel anak (haploid) dengan jumlah kromosom setengah sel induknya. Rekombinasi kromosom tetua selama meiosis akan menghasilkan rekombinasi genetik pada kromosom haploidnya. Melalui kultur antera, sel polen haploid dapat terinduksi menjadi kalus (massa sel) dan selanjutnya menjadi tanaman haploid. Apabila kromosom tanaman haploid tersebut digandakan atau terjadi penggandaan spontan selama kultur akan diperoleh tanaman-tanaman haploid ganda yang homozigos atau galur murni dari satu generasi persilangan F-1. Diperkirakan galur-galur haploid ganda akan diperoleh melalui teknik kultur antera dalam waktu 30 bulan (Sasmita, 2006)

Karakter-karakter yang dikendalikan baik oleh gen dominan maupun gen resesif dapat diekspresikan oleh tanaman haploid ganda. Variasi genetik pada tanaman haploid ganda akan terjadi yang disebabkan oleh efek additif, terlepas dari efek dominan resesif. Pada populasi demikian jumlah individu yang dibutuhkan sebagai bahan seleksi untuk mendapatkan rekombinasi gen yang diinginkan akan jauh berkurang jika diperoleh dari populasi bersegregasi hasil persilangan konvensional. Pada pemuliaan konvensional (persilangan), jika jumlah gen yang terlibat dinyatakan dengan n, kemungkinan untuk mendapatkan individu homozigot pada generasi F2 adalah $(1/4)^n$, sedangkan melalui pembentukan tanaman haploid ganda (kultur antera) adalah$(1/2)^n$ (Chahal & Gosal, 2002). Jika sejumlah n gen diasumsikan tidak terpaut, maka populasi tanaman bahan seleksi minimum yang harus tersedia agar semua genotipe homozigos terwakili adalah 2^n tanaman. Populasi tersebut jauh lebih sedikit jika kita bandingkan dengan populasi hasil persilangan konvensional yang memerlukan sebanyak 4^n tanaman. Menurut Chahal dan Gossal (2002) pada tanaman padi diperkirakan dibutuhkan kurang lebih 150 tanaman haploid ganda yang dihasilkan dari populasi F-1 antera untuk seleksi genotipe yang diinginkan. Dengan demikian melalui kultur antera selain mendapatkan populasi bahan seleksi berupa galur murni yang lebih cepat, seleksi dapat dilakukan lebih efisien. Menurut Sanint *et al.* (1996) keuntungan aplikasi teknik kultur antera dalam pemuliaan padi selain dapat meningkatkan efisiensi proses seleksi, juga dapat menghemat waktu, biaya dan tenaga.

Teknik kultur antera padi telah dikembangkan di negara-negara produksi padi dalam upaya perakitan varietas unggul seperti di Korea, China, India, Jepang dan Filipina (Niizeki, 1997). Di Indonesia teknik tersebut telah dipelajari sejak 1999, yaitu sejak

beberapa peneliti Balitbio (sekarang, Balai Besar Biogen) mengikuti pelatihan kultur antera di IRRI. Hingga saat ini perkembangan hasil-hasil penelitian tersebut telah menunjukkan keberhasilan dalam membentuk berbagai populasi galur haploid ganda dan berpeluang dapat dikembangkan dalam mendukung program pemuliaan tanaman padi (Hanarida & Rianawati 1992; Dewi *et al*., 1996; Sasmita & Purwoko, 2002).

Secara teknis kultur antera padi telah dapat dilakukan di Indonesia (Sasmita, 2008). Namun demikian keberhasilan tersebut sangat tergantung pada jumlah galur haploid ganda hasil kultur antera sebagai bahan seleksi untuk karakter unggul yang diinginkan. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa genotipe tetua persilangan berpengaruh nyata terhadap pembentukan planlet hijau (putatif galur haploid ganda) dalam kultur antera padi F1. Oleh karena itu informasi mengenai daya kultur antera genotipe tetua yang akan digunakan dalam kultur antera penting untuk dipelajari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya kultur antera genotipe padi sawah *O. sativa* L. subsp. *indica* sebagai bahan persilangan F1 untuk dikembangkan lebih lanjut melalui kultur antera.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan dari bulan Februari sampai dengan Agustus 2007 di Balai Besar Penelitian Tanaman Padi Sukamandi, Subang. Percobaan dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap 25 kali ulangan. Perlakuan terdiri atas 11 genotipe padi sawah *O. sativa* L. *yang memiliki berbagai karakteristik unggul diharapkan (Tabel 1).* Dua dari 11 genotipe yaitu Taiken-9 dan T-309 merupakan *O. sativa* L. subsp. *Japonica* . T-309 merupakan genotipe yang memiliki daya kultur antera baik dan digunakan sebagai kontrol. Setiap unit percobaan terdiri atas satu cawan petri, berisi sekitar 120-150 antera padi berasal dari 25 spikelet.

Tabel 1. Genotipe tetua bahan persilangan F-1 sumber eksplan kultur antera

No	Genotipe	Karakter unggul
1.	IR BB66	Tahan hawar daun bakteri (HDB)
2.	Basmati	Kualitas, Aromatik
3.	BPT 164C-88-7-3-2	Tahan tunggro
4.	BP 1356-16-KN-4	Tahan wereng coklat biotipe 3 (WCk3)
5.	Rojolele BT 6.11.48	Tahan penggerek batang
6.	Taiken-9	Kualitas, Japonika
7.	Cigeulis	Tahan WCk1,2, dan HDBIV
8.	Fatmawati	Agak tahan WCk 2,3; padi tipe baru
9.	Celebes I	Tahan WC1,3, Blas, tunggro
10.	BP9454F-20-1-B	Mutu gizi (Fe) beras tinggi.
11.	T-309	Daya kultur antera baik

Benih padi setiap genotipe yang digunakan ditanam dalam ember dengan pemeliharaan sesuai rekomendasi, dan ditempatkan di rumah kawat sebagai sumber eksplan. Pengambilan sampel (eksplan) dilakukan pada stadia bunting, yaitu pada saat jarak antara aurikel daun bendera dengan daun di bawahnya 7-15 cm (tergantung genotipe). Malai padi bersama-sama dengan batangnya dikoleksi sebagai sumber eksplan, selanjutnya dicuci dengan air dan dibungkus dengan kertas tissue basah, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik dan disimpan di ruang dingin 10 ^{0}C selama 8 hingga 10 hari. Antera dari eksplan terpilih diinokulasikan pada media induksi kalus dalam cawan petri yang telah disediakan sebelumnya. Pengambilan sampel (eksplan), perlakuan dingin, inokulasi, regenerasi, dan aklimatisasi dilakukan sesuai metode Purwoko *et al*. (2001).

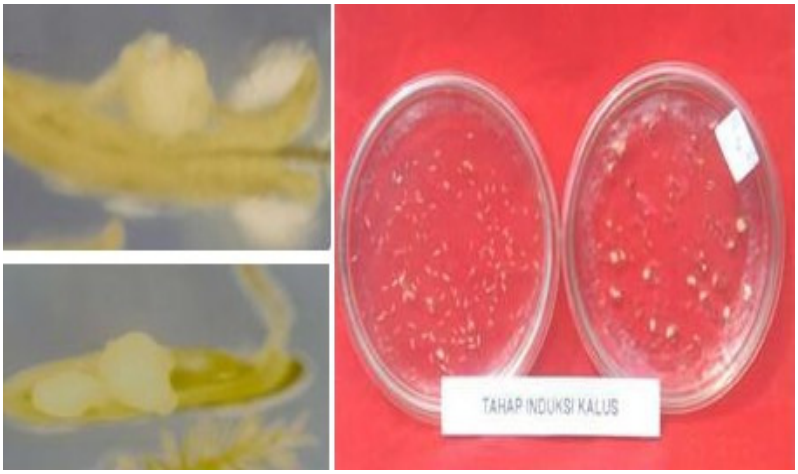
Media yang disiapkan adalah media N6 untuk induksi kalus (Chu, 1982) dan media MS untuk regenerasi tanaman (Murashige & Skoog, 1962). Penambahan hormon dan sukrosa pada media N6 dan MS mengikuti modifikasi Dewi *et al.* (1994). Penambahan putresin 10^{-3} M pada media N6 dan MS, mengikuti metode Purwoko *et al.* (2001). Media perakaran adalah media MS ditambah 0.5 mg/l IBA dan maltosa 40 g/l sebagai pengganti sukrosa (Dewi *et al.*, 1994). Media N6 disiapkan dalam cawan petri, sedangkan media MS disiapkan dalam botol kultur. Pengambilan sampel (eksplan) antera padi, perlakuan dingin, inokulasi antera, regenerasi dan aklimatisasi dilakukan sesuai dengan metode Dewi *et a.* (1994).

Pengamatan meliputi jumlah kalus dihasilkan, jumlah tanaman hijau dan tanaman albino hasil regenerasi, serta jumlah tanaman hidup yang dihasilkan tahap aklimatisasi. Perbedaan respon di antara perlakuan (genotype) ditentukan berdasarkan analisis varian dilanjutkan dengan DMRT 5%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Respon Genotipe terhadap Pembentukan Kalus

Inisiasi induksi kalus dalam media induksi ditandai dengan membesarnya antera akibat terjadinya pembelahan sel-sel mikrospora yang berkembang menjadi massa sel (kalus), selanjutnya dinding antera pecah dan tampak ke luar kalus berwarna putih. Antera yang dapat menginduksi kalus berwarna putih kekuningan, sedangkan yang tidak dapat menginduksi kalus mengalami senesen berwarna coklat kehitaman dan mati. Di bawah mikroskop, kalus yang terbentuk dari polen tampak berada di dalam dinding antera (Gambar 1).



Gambar 1. Pembentukan kalus dalam antera pada media N6

Munculnya kalus pertama pada media induksi kalus bervariasi di antara genotipe dan berkisar tiga hingga lima minggu sejak antera diinokulasikan. Pembentukan kalus tersebut untuk masing-masing antera tidak serentak dan memerlukan waktu hingga lebih dari delapan minggu. Jumlah antera menghasilkan kalus dan produksi kalus yang dihasilkan untuk setiap genotipe disajikan dalam Tabel 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan antera menghasilkan kalus berbeda diantara genotipe. Pada proses induksi kalus tidak semua antera dapat menginduksi kalus. Ketidakmampuan antera menghasilkan kalus tersebut merupakan faktor pembatas penting dalam aplikasi kultur antera. Dari 11 genotipe yang dikulturkan anteranya, hanya tujuh genotipe yang dapat menginduksi (menghasilkan) kalus. Dari 150 antera per petri (asal 25 spikelet) yang diinokulasikan untuk setiap genotipe, genotipe dengan jumlah antera menghasilkan kalus terbanyak dicapai oleh T-309 dan Taiken-9 masing-masing sebanyak 47,2 antera (31,5%) dan 44,6 antera (29,7%), sedangkan yang lainnya (Basmati, Rojolele, Fatmawati, Cigeulis, dan Celebes) berkisar antara 11,2 antera (7,5%) hingga 26,4 antera (17,6%) (Tabel 2).

Tabel 2. Jumlah antera menghasilkan kalus dan produksi kalus

No	Genotipe	Antera menghasilkan kalus (AMK)		Produksi kalus (PK)	
		∑	%	Jumlah	PK/AMK
1.	IR BB66	0	0	0	0
2.	Basmati	17,8 c	11,9	31,4 c	1,8
3.	BPT 164C-88-7-3-2	0	0	0	0
4.	BP 1356-16-KN-4	0	0	0	0
5.	Rojolele	11,2 d	7,5	16,1 e	1,4
6.	Taiken-9	44,6 a	29,7	98,4 b	2,2
7.	Cigeulis	19,5 c	13,0	22,5 d	1,2
8.	Fatmawati	26,4 b	17,6	31,2 c	1,2
9.	Celebes	13,1 cd	8,7	19,1 de	1,5
10.	BP9454F-20-1-B	0	0	0	0
11.	T-309	47,2 a	31,5	127,3 a	2,7

Keterangan: Angka rata-rata diikuti huruf sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT 5%.

Hasil penelitian menunjukkan pula bahwa jumlah antera menghasilkan kalus turut menentukan terhadap jumlah kalus yang dihasilkan (produksi kalus). Berdasarkan rasio produksi kalus terhadap antera menghasilkan kalus, setiap antera dapat menghasilkan kalus berkisar antara 1,2–2,7 kalus. Pembentukan kalus tertinggi ditunjukkan oleh kedua genotipe padi subsp. Japonica, yaitu T-309 dan Taiken-9 (Tabel 2). Pada tahap induksi kalus genotipe berpengaruh baik terhadap jumlah antera yang dapat menghasilkan kalus maupun terhadap produksi/pembentukan kalus. Pengaruh yang signifikan tampak diantara genotipe padi subsp. japonica japonica dan subsp. indca. Pada tahapan ini subsp. japonica secara signifikan menunjukkan daya induksi kalus lebih tinggi dibandingkan dengan subsp. indica (Tabel 2)

3.2. Respon Genotipe terhadap Daya Regenerasi Tanaman.

Kalus yang telah mencapai ukuran 1-2 mm untuk setiap genotipe dihitung dan segera dipindahkan ke media regenerasi (MS). Kalus yang dipindahkan adalah kalus yang terbentuk selama 50 hari sejak munculnya kalus pertama. Pada media regenerasi, sebagian kalus ada yang terus berkembang (berproliferasi) dan sebagian ada yang tidak dapat berkembang atau mati. Kalus yang dapat berkembang dapat dibedakan menjadi kalus yang embryogenik (kalus yang dapat beregenerasi menjadi tanaman) dan kalus yang tidak embryogenik. Kalus yang embryogenik dapat tumbuh dan berkembang menjadi embryo, baik yang berwarna hijau maupun putih (Gambar 2). Proses regenerasi tanaman dari kalus terjadi melalui tahapan embryogenesis dilanjutkan dengan morfogenisis dan dihasilkan planlet.

Gambar 2. Regenerasi tanaman dari kalus pada media MS

Kalus embriogenik dapat membentuk lebih dari satu tanaman baik tanaman hijau maupun tanaman albino atau keduanya. Umumnya sebagian kalus embriogenik yang dapat beregenerasi menjadi tanaman hijau tampak berwarna hijau sejak tujuh hari di media regenerasi, sedangkan kalus yang beregenerasi menjadi tanaman albino tetap berwarna putih. Planlet hijau mencapai tinggi 3-5 cm dalam waktu sekitar empat minggu sejak kalus dipindah ke dalam media regenerasi. Daya regenerasi tanaman setiap genotipe disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Daya regenerasi tanaman genotipe tetua bahan persilangan

No.	Genotipe F-1	∑ Kalus *)			∑Planlet terbentuk **)			
		Awal	EG	%EG	∑ hijau	%	∑Albino	%
1.	Basmati	17,8	3,7	20,6 c	16	36,4	28	63,6
2.	Rojolele	11,2	1,3	11,5 e	9	34,6	17	65,4
3.	Taiken-9	44,6	14,0	31,4 b	33	41,8	46	58,2
4.	Cigeulis	19,5	3,2	16,5 d	26	44,1	33	55,9
5.	Fatmawati	26,4	5,9	22,3 c	37	41,6	52	58,4
6.	Celebes I	13,1	1,9	14,2 de	19	40,4	28	59,6
7.	T-309	47,2	19,6	41,5 a	69	48,6	73	51,4

Keterangan: Angka rata-rata diikuti huruf sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT 5%, EG=Kalus embryogenik, *) = rata-rata per petri, **) = total dari 25 petri.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan menghasilkan kalus embryogenik (EG) berbeda antar genotipe. Berdasarkan persentase kalus embryogenik terhadap kalus awal (yang diregenerasikan), pembentukan kalus embryogenik tertinggi

dicapai oleh kedua genotipe subsp. japonica T-309 dan Taiken-9 berturut-turut sebesar 41,5% dan 31,4%, sedangkan genotipe lainnya berkisar antara 11,5-22,3%.

Persentase kalus embryogenik menentukan jumlah regeneran tanaman (planlet) yang dihasilkan melalui teknik kultur antera. Pada penelitian ini pembentukan planlet hijau relatif sedikit dibanding dengan jumlah kalus yang diregenerasikan. Tabel 3 menunjukkan bahwa jumlah planlet hijau terbentuk dari 25 petri (25 ulangan) hanya berkisar 9-69 planlet hijau. Pembentukan planlet hijau terbanyak secara konsisten ditunjukkan oleh kedua genotipe subsp. japonica T-309 dan Taiken-9 yaitu beturut-turut 69 tanaman dan 33 tanaman. Pada penelitian ini, sedikitnya planlet hijau yang dihasilkan selain disebabkan oleh persentase kalus embryogenik yang relatif sedikit juga disebabkan oleh persentase pembentukan planlet albino yang relatif banyak. Persentase pembentukan planlet albino mencapai lebih dari 50%. Secara umum, kemampuan antera menghasilkan kalus dengan produksi kalus yang tinggi, kemampuan kalus membentuk kalus embryogenik yang banyak, serta kemampuan kalus embryogenik menghasilkan planlet hijau yang banyak merupakan faktor penentu keberhasilan kultur antera padi.

Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa genotipe berpengaruh nyata terhadap daya kultur antera genotipe padi sawah baik pada tahap induksi kalus maupun pada tahap regenerasi tanaman. Perbedaan yang konsisten tampak diantara kedua genotipe padi japonica (T-309 dan Taiken-9) dengan kelima genotipe padi subspesies *indica* yang diuji lainnya (Tabel 3). Hasil serupa telah banyak dilaporkan bahwa secara umum padi *japonica* memberikan respon daya kultur antera yang lebih baik dibandingkan dengan padi *indica* (Chu, 1982; Zapata & Torrizo, 1989; Dewi *et al.*, 1994). Oleh karena itu disarankan penggunaan genotipe padi japonica sebagai salah satu tetua untuk menghasilkan F-1 yang akan digunakan dalam kultur antera, dengan harapan F-1 tersebut memiliki daya kultur antera baik.

Pemilihan tetua persilangan yang tanggap terhadap kultur antera (*high anther culturability*) harus menjadi pertimbangan utama dalam menyiapkan F-1 bahan eksplan. Sifat tersebut diharapkan dapat digabungkan dengan tetua yang mempunyai sifat unggul yang diinginkan tetapi tidak tanggap apabila dikulturkan. Sasmita *et al.* (2002) melaporkan bahwa untuk mendapatkan daya kultur anter F-1 terbaik, persilangan harus dilakukan diantara kedua tetua atau salah satu tetua yang betina memiliki daya kultur anter baik.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap daya kultur antera geneotipe padi sawah subsp. indica, diperoleh lima genotipe yang memiliki daya kultur antera dan dapat dipergunakan sebagai salah satu tetua persilangan untuk menghasilkan F-1 sumber eksplan kultur antera. Genotipe tersebut adalah: Basmati, Rojolele, Cigeulis, Fatmawati,

dan Celebes. Dari penelitian tersebut diperoleh informasi pula bahwa genotipe padi subsp. japonica yaitu T-309 dan Taiken-9 menunjukkan daya kultur antera lebih tinggi dibandingkan dengan daya kultur antera kelima genotipe padi subsp indica tersebut. Dengan demikian untuk mendapatkan F1 yang diharapkan memiliki daya kultur antera, dalam menyiapkan F1 selain menggunakan tetua persilangan dari genotipe padi subsp. indica yang memiliki daya kultur antera dapat pula menggunakan salah satu tetuanya dari genotipe padi subsp. japonica. Penggunaan genotipe tersebut diharapkan selain dapat mewariskan karakter unggul yang dimilikinya juga dapat mewariskan daya kultur anteranya pada F-1 yang akan dikembangkan lebih lanjut melalui kultur antera.

4. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Genotipe memberikan respon yang berbeda terhadap daya kultur antera padi sawah. Genotipe padi sawah *O. sativa* L. subsp Indica yang memiliki daya kultur antera adalah; Basmati, Rojolele, Cigeulis, Fatmawati, dan Celebes. Informasi daya kultur antera kelima genotipe hasil penelitian tersebut memberikan prospek yang baik terhadap pengembangan aplikasi teknik kultur antera dalam perakitan varietas unggul baru padi sawah. Penggunan genotipe padi sawah yang memiliki karakter unggul dan daya kultur antera baik, pada persilangan untuk mendapatkan F-1 sumber eksplan dalam kultur antera padi diharapkan dapat mempercepat perolehan galur unggul baru yang diharapkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian kultur antera padi yang dibiayai oleh DIPA BB Padi, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian tahun anggaran 2007. Penulis mengucapkan terima kasih atas pembiayaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Chahal, G.S. dan S.S.Gosal. 2002. Principles and Prosedur of Plant Breeding. Biotechnology and Conventional Approaches. Alpa Science International. Pongbourne, UK. 604p.

Chu, C.C. 1982. Anther Culture of Rice and Its Significance in Distnce Hibridization. In Rice Tissue Culture Planning Conference. IRRI. Los Banos, Philippines. p. 47-53.

Dewi, I.S., A.D. Ambarwati, M.F. Masyhudi, T. Soewito, Suwarno. 1994. Induksi kalus dan regenerasi kultur antera padi (Oryza sativa L.). Risalah Hasil Penelitian Tanaman Pangan. 2:136-143.

Dewi, I.S., I. Hanarida, S. Rianawati. 1996. Anther culture and its application for rice improvement program in Indonesia. Indonesian Agriculture & Development J. 18 (3): 51-56.

Hanarida IS, Rianawati S. 1992. Induksi kalus dan regenerasi pada kultur antera F-1 padi (Oryza sativa L). Makalah Seminar Hasil Penelitian Tanaman Pangan Balitan Bogor. Bogor, 29 Februari–2 Maret 1992.

Gosal, S.S., A.S. Sindhu, J.S. Sandhu, R. Sandhu-Gill, B. Sigh, G.S. Khehra, G.S. Sindhu, and H.S. Dhaliwal. 1997. Haploidy in rice. Di dalam: Jain SM., Sopory SK, and Veilleux RE (Eds.). Invitro Haploid Production in Higher Plants. Kluwer Academic Publishers 4 : 1-35.

Murashige, T; and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. Physiol. Plant. 15: 473—497.

Niizeki, H. 1997. Anther (Pollen) Culture. Chapt. I. Tissue Culture. In Div. III. Biotechnology and Genetic Resources. In T Matsuo, Y Futsuhara, F Kikuchi, H Yamaguchi (eds.) Science of the Rice Plant. Vol. 3. Genetics. Food and Agriculture Policy and Research Center. Tokyo. p. 691-704

Sanint, L.R., C.P. Martinez, Z. Lentini. 1996. Anther culture as rice breeding tool: a profitable investment. In GH Khush (eds.). Rice Genetics III. Proceeding of the 3rd International Rice Genetics Symposium. IRRI, Philippines, Los Banos, pp. 511-531.

Sasmita P, Purwoko BS. 2002. Kultur antera padi gogo (Oryza sativa L. subsp. indica). Agrikultura 13 (3) : 137-142.

Sasmita, P., B.S. Purwoko, S. Sujiprihati, I. Hanarida. 2002. Kultur antera padi gogo hasil persilangan kultivar dengan galur toleran naungan. Hayati 9 (3): 89-93.

Sasmita, P. 2006. Karakterisasi dan Evaluasi Toleransi Padi Gogo Haploid Ganda Hasil Kultur Antera terhadap Naungan. [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor

Sasmita, P. 2008. Skrining ex situ genotype padi gogo haploid ganda toleran intensitas cahaya rendah. J. Agrikultura 19 (1): 75-82

Purwoko, BS; A Mufida; dan IS Dewi. 2001. Pengaruh putresin terhadap induksi dan regenerasi tanaman padi (Oryza sativa L. subsp. indica) melalui kultur antera. J Tanaman Tropika 4(2): 88-96

Zapata, FJ; and LB Torrizo. 1989. Breeding for rice varieties tolerant to adverse conditions through tissue culture at IRRI. pp. 93-108. in Strengthening Collaboration in Biotechnology: International Agriculture Research and Private Sector. IRRI, Los Banos, Philippines.

INOVASI TEKNOLOGI PENGOLAHAN SAYURAN: SAYURAN KERING DAN SAYURAN SIAP SANTAP

WIDANINGRUM dan ABUBAKAR

Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian, Bogor
Email: widaningrum_adnan@yahoo.com

Abstrak

Sayuran digolongkan sebagai bahan pangan yang mudah rusak (*perishable*). Kondisi ini menuntut usaha penanganan pascapanen sayuran yang baik untuk menekan kehilangan hasil, menjaga kualitas nutrisi yang dimiliki sayuran dan menjamin keamanannya. Telah dilakukan berbagai macam penelitian pengawetan sayuran, salah satunya yang sangat inovatif adalah dengan mengolah sayuran mentah menjadi sayuran kering yang siap masak dan bahkan sayuran matang yang siap makan dengan menggunakan pengering dan penggoreng vakum. Dengan pengeringan vakum, telah dihasilkan sayuran lobak kering. Perlakuan terbaik adalah 200 mbar/50°C yang menghasilkan lobak kering dengan warna dan penampakan yang baik, kadar air memenuhi standar (13,56%), total padatan terlarut lebih tinggi (39,53° Brix), begitu pula kadar vitamin C masih cukup tinggi yakni 242,70 mg/100 g. Dengan penggorengan vakum, sayuran menjadi matang, teksturnya kering dan renyah namun kandungan nutrisinya masih terjaga dan warnanya masih menampakkan warna aslinya tanpa terjadi reaksi pencoklatan (*browning*) ataupun produk yang hangus (*scorching*). Pada kasus sayuran wortel dan buncis, terbukti panelis menyukai kedua produk dalam bentuk keripik dengan perlakuan tertentu. Untuk sayuran buncis, diperoleh rendemen keripik antara 13,58%-14,17% dengan waktu penggorengan vakum berlangsung selama 1,08 jam-1,41 jam. Kandungan gizi meliputi air 6,33-7,39%; abu 4,16-5,68%; lemak 33,85-39,76%; protein 10,06-11,36%; karbohidrat 37,93-45,16%; serat kasar 11,15-13,14%; asam lemak bebas (FFA) 0,57-0,66%; vit C 0,25-0,43% dan asam thiobarbiturat (TBA) sebagai indeks ketengikan pada kisaran 0,16-0,27%. Untuk sayuran wortel, diperoleh rendemen keripik antara 14,88-16,56% dengan waktu penggorengan berlangsung selama 1,32-1,67 jam. Kandungan gizi meliputi air 3,47-4,71%; abu 4,53-5,48%; lemak 33,28-39,17% dan serat kasar 6,18-8,77. Produk wortel kering sangat disukai oleh panelis, sedangkan produk keripik buncis cukup disukai terutama bagi mereka yang menyukai kandungan serat yang cukup tinggi pada makanan yang dikonsumsinya. Pada sayuran bengkuang, kadar air keripik bengkuang dengan perlakuan terbaik yaitu 5,04% dengan kadar abu 1,81%, kadar lemak 36,31%, dan kadar serat kasar sebesar 6,9%. Di masa depan *snack* sayuran akan menjadi trend untuk menjadi pangan bernutrisi dan menyehatkan terutama bagi anak-anak.

Keywords: Sayuran, pengeringan vakum, goreng vakum

1. PENDAHULUAN

Sayuran sebagai salah satu produk pertanian penting merupakan bahan pangan yang kaya akan vitamin dan mineral, sehingga bermanfaat untuk memelihara kesehatan tubuh agar tetap prima. Menurut Muchtadi dan Anjarsari *dalam* Rachmat *et al.* (2003),

sayuran merupakan salah satu sumber pro-vitamin A, vitamin C serta sumber kalsium dan zat besi serta menyumbangkan sedikit kalori dan sejumlah kecil elemen mikro. Selain itu, sayuran merupakan bahan pangan yang kaya akan serat dan umumnya mengandung senyawa antioksidan yang dapat mencegah resiko penyakit kanker atau penyakit degeneratif lainnya, sehingga keberadaaan sayuran dalam menu makanan sehari-hari merupakan hal yang tidak dapat ditawar-tawar lagi. Bagian terbesar dari sayuran adalah air, dan sisanya adalah sedikit karbohidrat. Sebagian ada juga yang mengandung sekelumit protein dan lemak. Sayuran merupakan produk pertanian strategis yang ketersediaannya di Indonesia senantiasa berlimpah sepanjang tahun. Karena sifat dan kandungan zat gizinya, sayuran digolongkan sebagai bahan pangan yang mudah rusak atau busuk atau sangat mudah rusak/busuk. Menurut Rachmat *et al.* (2003) di Indonesia kehilangan hasil sayuran secara kualitas dan kuantitas sudah mencapai 25-40%. Hal ini erat hubungannya dengan penanganan pascapanen sayuran yang kurang/belum memadai disamping faktor-faktor alam yang kurang mendukung seperti iklim tropis yang pada saat-saat tertentu kurang bagus, suatu saat musim kemarau dan saat yang lain adalah musim penghujan yang berkepanjangan. Kondisi ini menuntut usaha penanganan pascapanen sayuran harus dilakukan secara hati-hati untuk menekan kehilangan hasil, menjaga kualitas nutrisi yang dimiliki sayuran serta menjamin keamanannya. Teknologi yang dapat mengurangi kerusakan dan kebusukan sayuran sangat diperlukan selain dalam upaya untuk memperpanjang masa simpannya sebelum tiba di tangan konsumen juga untuk menyelamatkan keberlimpahan sayuran yang terjadi pada saat panen raya.

Menurut Anonymous (2007), produksi nasional komoditas hortikultura berdasarkan angka prognosa selama tahun 2007 mengalami peningkatan sebesar 4,34-7,30 persen dari tahun sebelumnya. Laporan Ditjen Hortikultura tahun 2007 menunjukkan bahwa produksi komoditas sayuran mengalami peningkatan dari 9,527,463 ton pada tahun 2006 menjadi 9,941,339 ton pada tahun 2007 atau naik sebesar 4,34 persen. Luas panen hortikultura pada tahun 2007 juga ikut meningkat 4,5 sampai 8,61 hektar dibanding tahun 2006. Kenaikan produksi komoditas hortikultura tersebut salah satunya disebabkan peningkatan luas panen yang mana untuk sayuran meningkat dari 1,007 juta hektar pada tahun 2006 menjadi 1,053 juta hektar pada tahun 2007. Produksi sayuran yang meningkat secara signifikan terjadi pada bawang merah yaitu 30,68 persen; labu siem 34,07 persen; tomat 26,12 persen. Produksi sayuran pada tahun 2008 ditargetkan naik menjadi 9,99% dari produksi tahun 2007 yang mencapai 9,997 juta ton. Masih perlu kerja keras untuk meningkatkan daya saing produk hortikultura nasional, salah satunya dengan memperbaiki perdagangan maupun penanganan dan proses pengolahan sayuran mentah di dalam negeri. Produk hortikultura, terutama dari iklim tropis seperti Indonesia,

mempunyai pangsa pasar tersendiri. Produk hortikultura, baik yang segar maupun olahan, menjadi salah satu komoditas perdagangan internasional sebagaimana yang terlihat pada Tabel 1. Potensi tersebut tentu menjadi peluang ekspor produk hortikultura Indonesia, sekaligus memberikan sumbangan bagi Produk Domestik Bruto (PDB).

Untuk meningkatkan daya saing produk sayuran, perlu dilakukan pemantapan agribisnis melalui cara mengolah sayuran segar menjadi sayuran kering dan bahkan siap santap agar memiliki nilai tambah yang menguntungkan petani. Peluang pasar ini di masa depan sangat cerah, apalagi untuk orientasi ekspor. Teknologi pengawetan sayur-sayuran dapat dilakukan dengan cara pengawetan sayur dalam bentuk segar (*fresh fruit*) maupun dalam bentuk makanan olahan. Salah satu bentuk makanan olahan dari sayur-sayuran yang mempunyai peluang pasar internasional adalah dalam bentuk olahan kering. Permintaan akan makanan kering buah-buahan dan sayur-sayuran saat ini terus meningkat disebabkan karena masyarakat negara-negara maju banyak menyukai makanan sehat (*healthy foods*) yang banyak mengandung serat makanan (*dietary fiber*) seperti dalam buah-buahan dan sayur-sayuran dan dalam proses pembuatannya tanpa bahan tambahan seperti pengawet (Harmanto *et al.,* 1999) *dalam* Sofyan (2004).

Tabel 1. Produksi sayuran di Indonesia tahun 2004-2006

Komoditi	Tahun 2004	Tahun 2005	Tahun 2006
Bawang Daun	475,571.00	501,437.00	571,268.00
Bawang Merah	757,399.00	732,610.00	794,931.00
Bawang Putih	28,851.00	20,733.00	21,050.00
Bayam	107,737.00	123,785.00	149,435.00
Bunga Kol	99,994.00	127,320.00	135,518.00
Buncis	267,619.00	283,649.00	269,532.00
Cabe	1,100,514.00	0.00	0.00
Cabe Besar	714,705.00	661,730.00	736,019.00
Cabe Rawit	385,809.00	396,293.00	449,038.00
Jamur	10,543.95	1,213.60	23,559.00
Kacang Merah	107,281.00	132,218.00	125,250.00
Kacang Panjang	454,999.00	466,387.00	461,239.00
Kangkung	212,870.00	229,997.00	292,950.00
Kentang	1,072,040.00	1,009,619.00	1,011,911.00
Ketimun	477,716.00	552,891.00	598,890.00
Kol / Kubis	1,432,814.00	1,292,984.00	1,267,745.00
Labu Siam	179,845.00	180,029.00	212,697.00
Lobak	30,625.00	54,226.00	49,344.00
Melinjo	209,629.00	210,836.00	239,209.00
Petai	135,715.00	125,587.00	148,268.00
Petsai / Sawi	534,964.00	548,453.00	590,400.00
Terung	312,354.00	333,328.00	358,095.00
Tomat	626,872.00	647,020.00	629,744.00
Wortel	423,722.00	440,001.00	391,371.00

Sumber : Departemen Pertanian (2008)
Keterangan : Angka tetap

2. PERMASALAHAN

Pengolahan sayuran mentah menjadi sayuran kering dan olahan di Indonesia relatif masih sedikit dan terbatas. Ekspor sayuran hanya pada sayuran segar dan yang didinginkan, dibekukan, diolah dengan menggunakan *vinegar* atau asam, serta sedikit ekspor dari sayuran olahan. Data dari BPS (2005) menunjukkan bahwa ekspor keripik dan stik kentang baru mencapai ke negara Korea dan Singapura dengan berat total hanya sebesar 113,150 kg senilai US$ 84,040. Demikian pula untuk sayuran lain yang tidak dibekukan dan tidak diawetkan (segar) baru mencapai Korea, Saudi Arabia dan Belanda dengan berat keseluruhan hanya 113,139 kg saja yang setara dengan US$ 15,262. Adapun sayuran lain (*mixed vegetables*) yang tidak dibekukan dan tidak diawetkan baru memasuki negara Jepang, Korea, Thailand dan Brunei Darussalam dengan berat total 394,204 kg atau baru setara dengan US$ 527,092. Ekspor sayuran kering dan olahan masih sedikit, tidak sepadan dibanding ekspor komoditi hortikultura lainnya (misalnya buah-buahan dan produk olahannya). Pada Tabel 2 terlihat ekspor sayuran olahan dari Indonesia. Dengan demikian sangat terbuka lebar peluang bagi para pelaku agribisnis di Indonesia untuk memasuki pasar ekspor dengan beragam potensi sayuran olahan yang dapat dihasilkan dan diproduksi oleh petani-petani Indonesia.

Tabel 2. Ekspor sayuran (olahan) pada level nasional sampai bulan Mei 2007

Komoditi	Februari		Maret		April		Mei	
	Volume (kg)	Nilai (US $)	Volume (kg)	Nilai (US $)	Volume (kg)	Nilai (US $)	Volume (kg)	Nilai (US $)
Sayur-sayuran diawetkan	21,89	25,10	21,63	34,54	19,41	29,31	53,07	67,739
Sayuran dikeringkan	49,07	141,83	16,55	61,94	51,20	111,51	73,70	205,82
Polong-polongan dikeringkan	1,264,12	719,56	683,97	292,66	47,74	22,50	739,86	209,25
Sayuran olahan	628,62	848,26	579,66	764,52	409,98	536,60	648,69	796,17
Sayuran olahan lainnya	1,762,99	3,744,84	1,887,23	4,595,48	1,287,59	3,047,21	2,226,33	6,151,88

Sumber : Departemen Pertanian (2008)
Keterangan : Angka tetap

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa ekspor sayuran olahan menunjukkan fluktuasi yang sangat tinggi. Apabila pada bulan Februari kita mampu mengekspor sayuran olahan (sayuran yang sudah siap dikonsumsi seperti pikel, acar, sayuran dalam kaleng, jamur dalam kaleng, dan lain-lain) senilai US $ 848,26 maka pada bulan-bulan berikutnya mulai bulan Maret sampai bulan Mei 2008 nilai ekspor kita menurun cukup tajam yaitu dalam kisaran 579,66 kg sampai 648,685 kg saja dengan nilai uang yang cukup merosot pula yaitu penerimaan negara kita hanya mencapai US $ 764,52 sampai

US $ 796,17. Namun pada sayuran olahan lainnya (yaitu sayuran olahan yang sudah tercampur di dalam produk makanan lainnya seperti dalam bubur bayi, biskuit, keripik ikan) menunjukkan angka yang cukup menggembirakan. Nilainya cukup stabil, yaitu pada bulan Februari nilai ekspornya mencapai 1,76 ton senilai US $ 3,744,84 dan terus meningkat pada bulan Maret dan mencapai nilai yang paling tinggi pada bulan Mei 2007 yaitu mencapai 2,23 ton senilai US $ 6,151,882. Potensi ini bisa terus meningkat apabila hasil-hasil pertanian kita terus diberdayakan dan diolah terlebih dahulu sebelum diekspor sehingga petani dapat menikmati keuntungan dari nilai tambah yang dihasilkan.

3. PELUANG

Perubahan gaya hidup yang beralih dari gaya hidup konvensional ke gaya hidup modern yang menginginkan segala sesuatu yang serba cepat menuntut tersedianya bahan pangan siap santap sehingga dapat langsung dimakan. Hal ini berlaku juga untuk bahan pangan sayuran. Teknologi pascapanen, terutama aspek penanganan dan pengolahan yang tepat untuk memperpanjang masa simpan sayuran sangat diperlukan. Tersedianya sayuran siap masak (Sayuran kering) dan sayuran siap santap (langsung makan) dengan kandungan nilai gizi/nutrisi yang masih tinggi merupakan tantangan tersendiri bagi para ahli teknologi pangan untuk menemukan teknologi pemasakan dan pengeringan sayuran yang tepat. Hingga saat ini, teknologi pengolahan produk sayuran siap santap masih terbatas dijumpai, padahal pangsa pasarnya masih terbuka sangat lebar, baik untuk memenuhi pasar domestik maupun untuk mensuplai permintaan dari luar negeri (ekspor). Indonesia masih menjadi pemain kecil pensuplai komoditi sayuran dan produk olahannya. Peluang untuk memenuhi pasar yang terbuka lebar ini sangat besar. Menurut Saragih (2001), pertumbuhan pasar global komoditas pertanian akan semakin didominasi oleh komoditas non-tradisional seperti buah-buahan dan sayuran, ikan olahan, tembakau dan makanan olahan. Sedangkan produk tradisional seperti karet, serealia, gula dan produk tropis lainnya tumbuh sangat rendah mengingat *trend* harga-harga komoditas primer lesu. Peluang pasar ini harus diantisipasi terus-menerus oleh pelaku-pelaku agribisnis atau pengusaha kita dengan melakukan perubahan pola produksi yang lebih fokus kepada produk-produk olahan. Produk olahan lebih berprospek, bernilai tambah serta persyaratan lainnya tidak seketat produk primer atau produk segar.

4. PROSES PEMBUATAN SAYURAN KERING DAN SAYURAN OLAHAN (KERIPIK SAYURAN) SIAP SANTAP

Untuk meningkatkan nilai tambah, pengawetan sayuran dengan mengolahnya menjadi sayuran kering mulai banyak dilakukan di Indonesia. Sebelumnya, sayuran kering seperti bawang daun, seledri, wortel dan kubis diimpor dari Eropa. Pengeringan dilakukan dengan alat pengering vakum untuk memperoleh sayuran kering dengan warna, aroma, dan tekstur yang baik (Sinaga dan Histifarina, 2000). Pengeringan merupakan salah satu cara pengawetan bahan agar dapat disimpan lebih lama, ringan, dan volumenya menjadi kecil sehingga biaya produksi akan lebih hemat. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi sebagian air dari bahan sampai kadar air tertentu agar bahan tersebut dapat disimpan lebih lama (Aman *et al. 1992;* Muchtadi *et al.,*1995). Pengeringan telah banyak dilakukan dalam pengolahan hasil pertanian dan bahan pangan dengan menggunakan energi matahari, pemanasan, pengangin-anginan, perbedaan tekanan uap, dan pengeringan beku (Aman *et al.,* 1992). Pengeringan dan tekanan vakum dan suhu rendah akan menghasilkan sayuran kering yang bermutu baik (Estiaghi *et al.,* 1994; Histifarina *et al.,* 2004). Pengeringan beku pada beberapa jenis sayuran selain dapat mempertahankan kandungan tokoferol (Manullang dan Mercylia, 1995 *dalam* Astuti, 2007) juga dapat mempertahankan warna hijau klorofil. Pengeringan dengan alat pengering semprot dan drum menghasilkan aktivitas antitrombotik yang baik pada bawang merah dan bawang putih (Muchtadi *et al,* 1995).

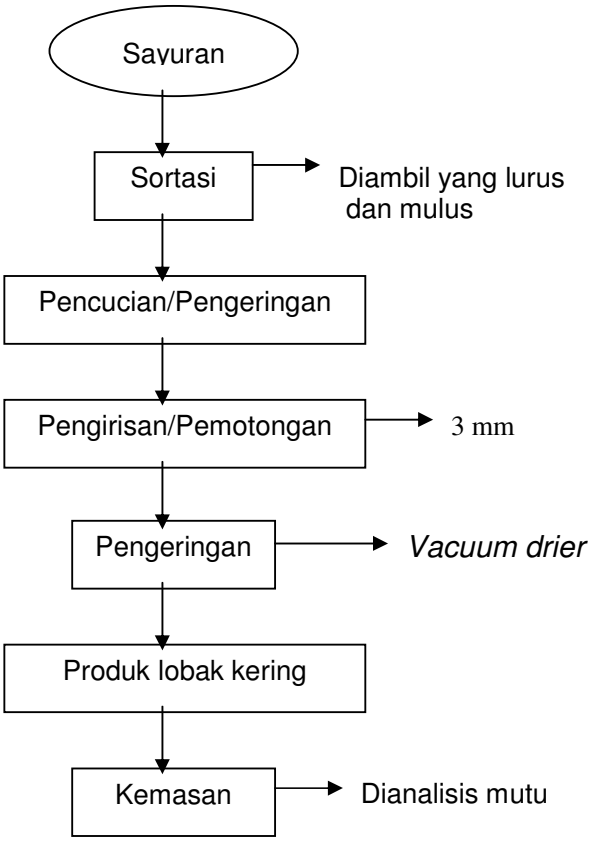
Pengeringan vakum merupakan suatu cara pengeringan bahan dalam ruang yang tekanannya lebih rendah daripada tekanan udara atmosfer. Pengeringan dapat dilakukan dalam waktu yang lebih singkat walaupun pada suhu yang lebih rendah daripada pengeringan atmosfer. Dengan tekanan uap air dalam udara yang lebih rendah, air pada bahan akan menguap pada suhu yang lebih rendah (Aman *et al.* 1992; Histifarina dan Musaddad, 2004). Teknologi lain yang relatif baru yang dapat mengawetkan sayuran adalah dengan mengolah sayuran segar menjadi produk sayuran siap santap menggunakan metode pengeringan dengan pemasakan, sehingga sayuran tersebut dapat langsung dimakan. Metode yang relatif baru dan sangat potensial untuk diterapkan adalah dengan menggunakan alat pengeringan vakum (*vacuum drying*) dan alat penggoreng vakum (*vacuum frying*). Penggorengan vakum adalah suatu metoda pengurangan kadar minyak pada produk sambil tetap mempertahankan kandungan nutrisi produk. Teknologi ini dapat digunakan untuk memproduksi sayuran dan buah-buahan yang didehidrasi tanpa mengalami reaksi pencoklatan (*browning*) atau produk menjadi hangus. Pada operasi penggorengan vakum, bahan pangan mentah dipanaskan dibawah

kondisi tekanan yang diturunkan (<60 Torr ~ 8 kPa) yang dapat menurunkan titik didih minyak dan kadar air bahan pangan tersebut (Shyu, Hau and Hwang, 1998).

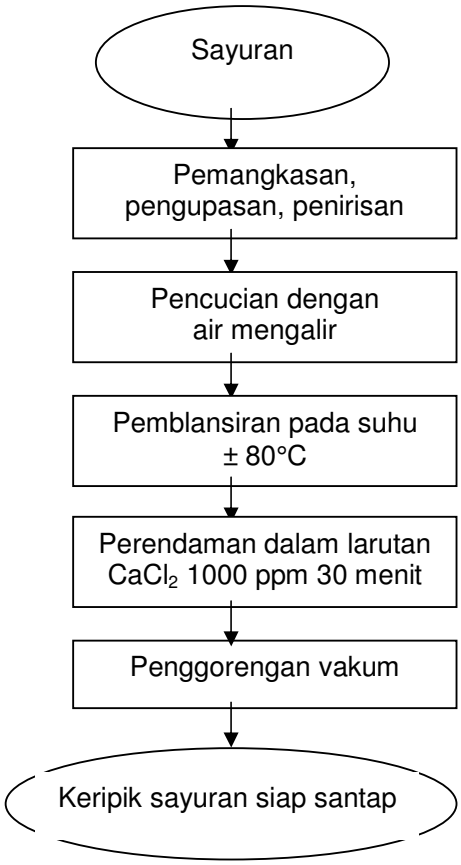
Dengan mesin penggoreng vakum (*vacuum frying*) memungkinkan mengolah buah atau komoditi peka panas seperti buah dan sayuran menjadi hasil olahan berupa keripik (*chips*) seperti keripik nangka, keripik apel, keripik salak, keripik pisang, keripik nenas, keripik melon, keripik salak, keripik pepaya, dan lain-lain. Pada kondisi vakum suhu penggorengan dapat diturunkan sebesar 70-85°C karena penurunan titik didih air. Dengan sistem penggorengan semacam ini, produk-produk pangan yang rusak dalam penggorengan (seperti buah-buahan dan sayur-sayuran) akan bisa digoreng dengan baik, menghasilkan produk yang kering dan renyah, tanpa mengalami kerusakan nilai gizi dan flavor seperti halnya yang terjadi pada penggorengan biasa. Umumnya, penggorengan dengan tekanan rendah akan menghasilkan produk dengan tekstur yang lebih renyah (lebih kering), warna yang lebih menarik. Hal penting lain dari produk hasil penggorengan vakum adalah kandungan minyak yang lebih sedikit dan lebih porous (lebih ringan) dan umumnya mempunyai daya rehidrasi yang lebih baik. Secara khusus, penggorengan vakum berpotansi untuk mengurangi pembentukan akrilamida pada produk goreng (Anonymous, 2008).

Pada metode pengeringan vakum dan pemasakan dengan penggorengan vakum, faktor-faktor seperti suhu dan waktu pengeringan dapat dikendalikan dan diawasi, produk yang digoreng kering pun langsung matang sehingga dapat langsung disantap. Walaupun ada biaya bahan bakar yang harus dikeluarkan, namun hasil pengeringan dan pemasakan yang merata dan seragam akan lebih mudah didapatkan. Apabila dilakukan dalam volume sayuran yang besar, biaya bahan bakar yang merupakan biaya produksi ini akan terkompensasi dari volume penjualan sayuran siap santap yang harganya lebih tinggi dibanding apabila hanya dijual dalam bentuk segar. Pengeringan dan pemasakan dengan penggorengan vakum menghasilkan produk yang aman dan umumnya *tasty* serta kandungan nutrisinya masih terjaga, karena menggunakan suhu rendah.

Secara umum diagram alir pembuatan sayuran kering dan keripik sayuran siap santap adalah seperti yang terlihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan sayuran kering *dalam* Sri Mulia (2007)



Gambar 2. Diagram alir proses pembuatan keripik sayuran *dalam* Setyawan *et al* (2007)

5. KARAKTERISTIK SAYURAN KERING DAN SAYURAN OLAHAN SIAP SANTAP

Hasil penelitian pembuatan sayuran kering dengan menggunakan pengering vakum telah dilakukan oleh Astuti (2007) pada sayuran lobak. Karakteristik lobak kering hasil penelitiannya dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Pengaruh kombinasi perlakuan tekanan vakum dan suhu terhadap nilai organoleptik lobak kering

Tekanan/suhu (mbar/°C)	Nilai organoleptik[1]		
	Warna	Aroma	Penampakan
200/50	1,47	2,40	1,47
200/60	2,13	2,67	2,20
200/70	2,53	2,80	2,53
300/50	1,87	2,47	1,80
300/60	2,53	2,73	2,33
300/70	2,63	2,87	2,67

Tekanan/suhu (mbar/°C)	Nilai organoleptik[1]		
	Warna	Aroma	Penampakan
400/50	2,07	2,53	2,13
400/60	2,73	2,73	2,40
400/70	3,87	2,87	4,07

[1]Nilai organoleptik: 1=sangat disukai, 2=disukai, 3=agak disukai, 4=kurang disukai, 5=tidak disukai

Tabel 4. Pengaruh perlakuan suhu, tekanan vakum, dan interaksi suhu dan tekanan vakum terhadap kadar air, padatan terlarut total, dan vitamin C lobak kering

Tekanan/suhu	Kadar air (%)	Padatan Terlarut total (Brix)	Vitamin C (mg/100 g)
Suhu (°C)			
50	13,03	37,81	284,58
60	11,76	40,00	315,56
70	11,44	41,05	314,04
Tekanan (mbar)			
200	11,20	39,68	317,37
300	12,17	40,52	293,33
400	12,85	38,67	303,52
Interaksi suhu/tekanan (°C/mbar)			
200/50	13,56	39,53	242,70
200/60	12,37	40,07	318,46
200/70	12,64	39,43	390,94
300/50	12,45	37,30	302,21
300/60	12,40	40,43	307,02
300/70	10,67	43,81	270,75
400/50	12,07	36,61	308,82
400/60	10,51	39,43	321,31
400/70	11,01	39,91	280,43

Dari hasil penelitian Astuti (2007) diketahui bahwa nilai warna lobak kering pada pengeringan dengan suhu 50°C lebih baik dibanding suhu 60°C dan 70°C, karena pada suhu 60°C dan 70°C terjadi reaksi pencoklatan. Perlakuan tekanan vakum yang tinggi (200 mbar) yang dikombinasikan dengan suhu rendah (50°C) merupakan perlakuan terbaik. Lobak segar maupun kering tidak menunjukkan adanya aroma yang menonjol. Pengeriputan pada potongan lobak kering tidak nyata terutama pada perlakuan 50°C.

Makin tinggi suhu pengeringan makin kecil kadar air lobak kering. Suhu udara dan suhu jaringan sel yang lebih tinggi mengakibatkan air yang terikat pada jaringan sel lebih mudah menguap. Perlakuan terbaik adalah 200 mbar/50°C yang menghasilkan lobak kering dengan warna dan penampakan yang lebih baik, kadar air memenuhi standar

(13,56%), total padatan terlarut lebih tinggi (39,53° Brix), begitu pula kadar vitamin C masih cukup tinggi yakni 242,70 mg/100 g.

Dalam beberapa tahun terakhir ini telah dilakukan beberapa penelitian pembuatan keripik sayuran. Da Silva dan Moreira (2008) telah membuat keripik buncis menggunakan alat penggoreng vakum dengan karakteristik kadar air keripik buncis seperti dapat dilihat pada Tabel 5. Terjadi penurunan kadar air yang cukup besar pada produk keripik buncis dari bahan mentahnya. Hal ini memungkinkan produk keripik buncis yang dihasilkan memiliki masa simpan yang awet (tahan lama).

Tabel 5. Kadar air keripik buncis yang diolah dengan penggoreng vakum dan penggoreng tradisional

Cara Penggorengan	Suhu Penggorengan (°C)	Waktu Penggorengan (detik)	Tekanan (kPa)	Kadar air (g/100 g)	
				Awal	Akhir
Penggorengan vakum Buncis	121±1	330	< 1,33	79,84±0,29	3,42±0,43
Penggorengan tradisional Buncis	165±1	300	101,3	79,84±0,40	8,31±0,03

Sumber: Da Silva dan Moreira (2008)

Kandungan nutrisi pada keripik sayuran yang diolah dengan menggunakan penggoreng vakum juga relatif masih tinggi, seperti pada keripik buncis, masih terkandung total karotenoid yang sangat bermanfaat untuk kesehatan karena berfungsi sebagai antioksidan. Demikian juga untuk sifat kimia yang lain seperti protein, vitamin C, kalsium, serat kasar, dan asam lemak bebas (FFA) yang jumlahnya masih tinggi pada produk keripik sayuran. Setyawan *et al.,* (2007) telah membuktikan hal ini melalui penelitian pembuatan sayuran kering siap santap pada komoditi buncis dan wortel. Sifat kimia produk yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Total karotenoid keripik buncis yang diolah dengan penggoreng vakum dan penggoreng tradisional

Cara Penggorengan	Total Karotenoid (µg/g berat kering)
Penggorengan vakum Buncis goreng	66,61 ± 0,38
Buncis mentah	340,06 ± 2,35
Penggorengan tradisional Buncis goreng	54,63 ± 0,42
Buncis mentah	340,06 ± 2,35

Sumber: Da Silva dan Moreira (2008)

Dari hasil penelitian Setyawan *et al.* (2007) yang melakukan penelitian pembuatan sayuran kering siap santap wortel dan buncis, diperoleh hasil rendemen keripik buncis

berkisar antara 13,58% s/d 14,17%, sedangkan penggorengan vakum berlangsung selama 1,08 jam s/d 1,41 jam. Sedangkan rendemen wortel kering berkisar antara 14,88% s/d 16,56% dengan waktu penggorengan berlangsung selama 1,32 jam s/d 1,67 jam. Dari uji organoleptik yang dilakukan, produk keripik wortel cenderung sangat disukai oleh panelis namun panelis pun masih menyukai keripik buncis yang dihasilkan, karena mengandung serat yang sangat tinggi (6-8%) yang sangat bermanfaat untuk kesehatan (Tabel 7).

Tabel 7. Hasil analisis kandungan kimia produk sayuran kering dengan menggunakan penggoreng vakum

Komoditi	Parameter (%)			
	Air	Abu	Lemak	Serat Kasar
Buncis	7,18	5,19	31,52	13,09
Wortel	4,08	5,48	39,17	8,77
Bengkuang	5,04	1,81	36,31	6,9

Sumber: Setyawan *et al.* (2007)

Menurut Lenny (2004) yang melakukan penelitian pembuatan keripik bengkuang siap santap, kondisi proses terbaik pengolahan keripik bengkuang yaitu dilakukan perendaman irisan bengkuang (tebal 2-3 mm) dalam larutan $CaCl_2$ 1%, dilanjutkan pembekuan pada suhu -10°C selama 12 jam, kemudian digoreng secara vakum (70 cm Hg) pada suhu 90°C selama 30 menit. Keripik bengkuang dispin selama 3 menit.

Rendemen pengolahan keripik bengkuang berkisar antara 14,51% hingga 16,33% dengan basis bahan baku umbi bengkuang. Keripik bengkuang yang dihasilkan dengan perendaman bahan dalam berbagai jenis larutan memiliki kadar air yang berkisar antara 4,11-5,70% (bk), kadar lemak antara 32,78-37,02% (bk), kadar abu antara 1,39-1,90% (bk), dan kadar serat kasar antara 5,72-6,90% (bk) (Tabel 7). Respon panelis terhadap keripik bengkuang dengan perlakuan perendaman bervariasi antar sampel. Urutan berdasarkan besarnya persentase kumulatif pernyataan sangat suka dan suka terhadap rasa dan kerenyahan yaitu keripik dengan perlakuan perendaman: $CaCl_2$ 0,5%, $CaCl_2$ 1%, natrium metabisulfit 1000 ppm, natrium metabisulfit 500 ppm, $CaCl_2$ 2%, dan terakhir natrium metabisulfit 1500 ppm. Panelis cenderung menyatakan netral terhadap aroma dan penampakan minyak keripik bengkuang. Berdasarkan hasil perhitungan untuk menentukan perlakuan terbaik menggunakan metode pembobotan, peringkat terbaik perlakuan yaitu perlakuan perendaman dalam $CaCl_2$ 1%. Kadar air keripik bengkuang dengan perlakuan tersebut sebesar 5,04% (bk). Kadar abu keripik sebesar 1,81% (bk), kadar lemak sebesar 36,31% (bk), dan kadar serat kasar sebesar 6,9% (bk).

6. KESIMPULAN

Di masa mendatang sayuran siap santap menjadi produk potensial yang teknologi proses pengolahannya dapat diadopsi banyak kalangan, yaitu dapat dilakukan oleh petani, teknologi proses pengolahannya dapat dimodifikasi sehingga paket teknologi sayuran ini dapat dijual ke perusahaan makanan atau pelaku usaha yang membutuhkan sayuran siap santap sebagai salah satu ingrediennya atau produk utamanya. Hal yang terpenting adalah dengan mengolah sayuran menggunakan alat penggoreng vakum terbukti dapat menjaga kandungan nutrisi sayuran tetap tinggi seperti pada saat mentahnya dan bermanfaat untuk kesehatan.

Di masa depan, sayuran olahan siap santap prospektif menjadi camilan sehat untuk anak-anak dan orang dewasa dan sangat memiliki peluang cerah untuk dijadikan komoditi ekspor dengan pasar yang sangat besar.

Teknologi pemasakan sayuran dan buah-buahan yang sudah ada dengan penggorengan vakum, masih perlu terus digali dan diteliti terutama penerapannya. Pengolahan sayuran menjadi olahan terutama yang siap santap sangat prospektif untuk Indonesia yang subur dan melimpah hasil hortikulturanya, dan di masa depan memiliki peluang cerah untuk dijadikan komoditi ekspor dengan pasar yang sangat besar.

DAFTAR PUSTAKA

Aman, W., Subarna, M. Arpah, D. Syah, dan S.I. Budiwati. 1992. Peralatan dan Unit Proses Industri Pangan. PAU IPB Bogor. Hlm.172-174.

Anonymous, 2007. Hortikultura, Potensi yang Masih Tak Berdaya.mht. Http://www. SitusHijau.co.id. Diakses tanggal 25 Maret 2008.

Anonymous. 2008b. Teknologi Penggorengan. FOODREVIEW INDONESIA. Vol.III/No. 3/April 2008

Astuti, Sri Mulia. 2007. Teknik Mempertahankan Mutu Lobak (Raphanus sativus) dengan Menggunakan Alat Pengering Vakum. Buletin Teknik Pertanian Vol. 12 No. 1 2007.

BPS. 2005. Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia. Ekspor. Jilid 1. Biro Pusat Statistik. Jakarta – Indonesia.

Da Silva, Paulo & R. G. Moreira. 2008. Vacuum frying of high quality fruit and vegetable-based snacks.LWT-Food Science and Technology.Doi:10.1016/ jJwt.2008.01.016.

Departemen Pertanian. 2008. Basis Data dan Statistik Pertanian. Pusat Data dan Informasi Departemen Pertanian. http//www.deptan.go.id. Diakses tanggal 1 Agustus 2008.

Estiaghi, M.N., S. Stute, and D. Knoor. 1994. High pressure and freezing pretreatment effect on drying, rehydration texture and colour of green beans, carrots and potatoes. J. Food Sci. 59 (6):1168-1170.

Lenny, Agustina. 2004. Pengaruh Natrium Metabisulfit dan Kalsium Klorida sebagai Bahan Perendam pada Pengolahan Keripik Bengkuang (Pachyrrhizus erosus (L)). Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.

Rachmat, R., S. Lubis, S. Nugraha, Sudaryono, D.S. Tarigan, M. Hadipernata, I. Agustinisari, Widaningrum. 2003. Produksi Sayuran Instan Melalui Teknologi Far Infra Red (FIR). Laporan Akhir Penelitian. Balai Penelitian Pascapanen Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.

Saragih, Bungaran. 2001. Prospek Agribisnis 2001 dan Evaluasi Pembangunan Pertanian 2000. Makalah disampaikan pada kuliah Ilmu-ilmu Sosial Ekonomi Pertanian. Fakultas Pertanian IPB. http//www.googlesearch.co.id. Diakses tanggal 1 Agustus 2008.

Setyawan, N., Widaningrum, D.A. Setyabudi, M. Shaffah, Siswadi, Tisnawati. 2007. Teknologi Pengolahan Sayuran Kering Siap Santap. Laporan Akhir Penelitian. Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian. Departemen Pertanian. 2007.

Histifarina, D. dan D. Musaddad. 2004. Penggunaan Sulfit dan kemasan vakum untuk mempertahankan mutu tepung bawang merah selama penyimpanan. Jurnal Hortikultura 14(1):67-73.

Muchtadi, D., C. Hanny W., K. Sutrisno, dan R.Afrina. 1995. Pengaruh pengeringan dengan alat pengering semprot dan drum terhadap aktivitas antitrombotik bawang putih dan bawang merah. Buletin Teknik dan Industri Pangan 6(3):28-32.

Sinaga, R.M. dan D. Histifarina. 2000. Peningkatan mutu bawang putih instan kering dengan prosedur perendaman dalam larutan natrium bisulfit. Jurnal Hortikultura 9(4):307-313.

Shyu, S., Hau, L., & Hwang, S. 1998. Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, 75:1393-1398.

Sofyan. I. 2004. Mempelajari Pengaruh Ketebalan Irisan dan Suhu Penggorengan Secara Vakum terhadap Karakteristik Keripik Melon (The effect of Thickly Slice and of Optimal Temperature Vacuum Frying To chips Characteristic of Melon Fruit). Infotek Vol 6 no 3. September.

PENENTUAN *CRITICAL CONTROL POINTS* (*CCP*) DAN *CONTROL POINTS (CP)* PADA PROSES PEMBUATAN MI BASAH DARI TEPUNG UBI JALAR DENGAN CAMPURAN PATI UBI KAYU

ABUBAKAR dan WIDANINGRUM

Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian, Bogor
Email: abu.028@gmail.com

Abstrak

Terigu merupakan bahan baku utama dalam pembuatan produk-produk makanan yang membutuhkan kekuatan struktur, tekstur, dan kekenyalan seperti pada mi, roti, biskuit, dan produk lain yang membutuhkan pengembangan. Terigu mengandung protein gluten yang menyebabkan produk yang dihasilkan nya memiliki struktur yang kuat serta kekenyalannya tak dapat diragukan lagi. Namun terigu sampai saat ini merupakan bahan baku impor yang harus senantiasa didatangkan dari luar negeri sehingga harganya semakin hari semakin meningkat karena mengikuti kurs dollar. Di Indonesia, salah satu sumber bahan pangan lokal yang dapat dijadikan alternatif sumber karbohidrat pengganti terigu adalah ubi-ubian, dua diantaranya yaitu ubi jalar dan ubi kayu. Ubi jalar yang diproses menjadi tepung dapat dijadikan bahan baku pembuatan mi, baik mi basah maupun mi kering. Sebagai bahan pembantu digunakan pati ubi kayu (tapioka) sehingga mi yang dihasilkan memiliki struktur yang relatif lebih kuat dan tidak mudah patah. Bahan pembantu lain yang ditambahkan yaitu CMC (*Carboxy Methyl Cellulosa*) dan garam sehingga mi menjadi lebih elastis, kenyal dan dapat diterima dari segi rasa. Pembuatan mi basah dan kering dapat dilakukan baik dalam skala kecil (rumah tangga), menengah maupun besar (industri) serta memiliki prospek yang cerah untuk dikembangkan. Segi keamanan menjadi hal yang mutlak apabila mi ini akan dipasarkan secara komersial. Untuk itulah diperlukan kajian titik-titik kritis (c*ritical control points)* dalam pembuatan mi basah dari ubi jalar agar produk yang dihasilkan terjaga keamanannya untuk dikonsumsi masyarakat. Dari analisis yang dilakukan pada usaha mi basah skala UKM (Usaha Kecil Menengah) terdapat 3 (tiga) titik kritis yang perlu dikontrol (*CCP*) yaitu pada saat pencetakan, perendaman dan pengemasan. Sedangkan tahapan yang termasuk titik yang perlu dikontrol (*CP*) ada 4 (empat) tahap yaitu tahap pembentukan biang, pencampuran dan pengadukan adonan mi, pemasakan dan penirisan.

Key words: mi basah, ubi jalar, ubi kayu, CCP, CP

1. PENDAHULUAN

Umbi-umbian merupakan sumber karbohidrat yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia. Salah satu umbi-umbian yang tumbuh dengan mudah di hampir semua wilayah di Indonesia adalah ubi jalar. Penggunaan ubi jalar di Indonesia masih

terbatas untuk bahan pangan tambahan. Padahal di luar negeri, seperti di Jepang, Taiwan, dan RRC, ubi jalar diolah menjadi tepung dan pati. Ubi jalar merupakan sumber bahan pangan yang baik karena mengandung cukup karbohidrat, β-karoten (provitamin A) dan serat. Penggunaan ubi jalar telah berkembang dari sebagai pakan ternak dan pangan pokok menjadi makanan tambahan, bahkan di beberapa negara di Eropa telah menjadi makanan mewah. Pada *event-event* nasional tertentu, ubi jalar sering disajikan sebagai makanan penutup (*dessert*) atau makanan ringan (*snack*) (Jamrianti, 2007). Tepung ubi jalar telah banyak digunakan sebagai bahan tambahan dalam formulasi pasta namun hanya digunakan sebagai *minor ingredient* (Collado & Corke, 1996; Collins & Pangloli, 1997). Hal ini karena ubi jalar tidak mengandung protein gluten yang berperan penting dalam pembentukan tekstur dan kekenyalan pada produk mi. Pada pasta dari bahan baku terigu, protein gluten berkontribusi terhadap kualitas pematangan yang dikehendaki dan tekstur produk (Feillet & Dexter, 1996). Pengolahan yang tepat dapat menjadikan umbi-umbian sebagai sumber makanan pokok alternatif bagi masyarakat Indonesia. Salah satu alternatif adalah dengan mengolah ubi jalar menjadi mi. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian telah melakukan penelitian teknologi pangan tradisional prospektif pangan pokok, diantaranya untuk mengembangkan teknologi inovatif pengolahan mi dari tepung ubi-ubian. Penelitian bertujuan untuk membantu masyarakat dalam upaya untuk memperbaiki teknologi pengolahan pangan tradisional atau pangan lokal. Hal ini akan membuka peluang pasar bagi komoditas pangan lokal dan mempercepat terciptanya katahanan pangan Nasional.

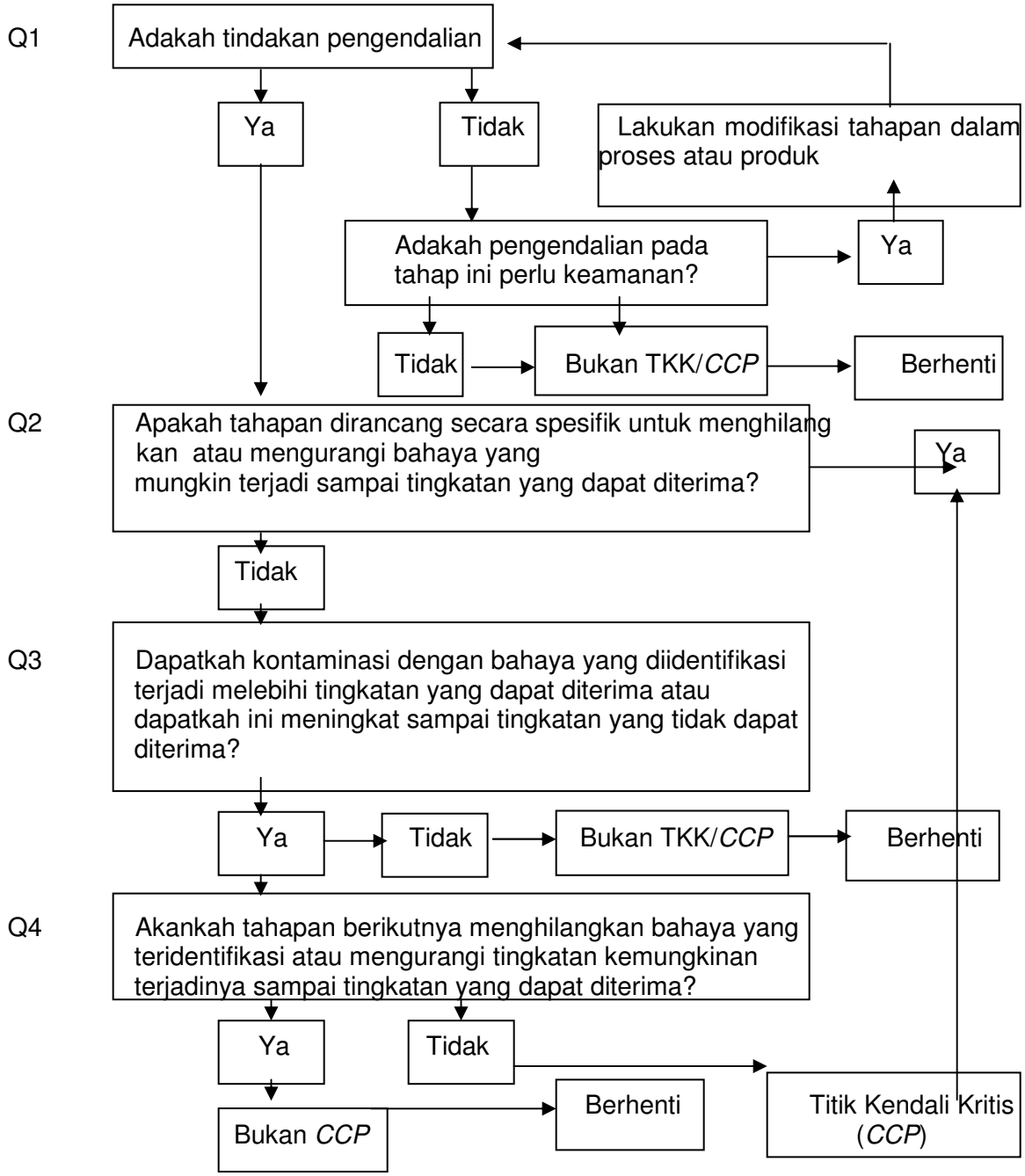
Sampai dengan tahun 2007, penelitian yang dilakukan telah berhasil memperbaiki kualitas mi yang diolah dari tepung ubi jalar, dan menguji tingkat penerimaan mi sagu di wilayah Jawa Barat (studi kasus di daerah Bogor). Produk olahan tepung ubi-ubian menjadi mi terhambat oleh kualitas yang beragam (tergantung bahan baku dan proses pengolahannya); umur simpan yang relatif singkat; dan pemasaran yang terbatas. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh belum adanya sistem jaminan mutu dan keamanan pangan. Padahal sebagai makanan olahan, mi sagu harus terjamin keamanannya sehingga tidak membahayakan bagi kesehatan manusia. *HACCP* merupakan suatu pendekatan untuk mencegah dan mengontrol penyakit karena keracunan makanan. Sistem ini dirancang untuk mengidentifikasi bahaya yang berhubungan dengan beberapa tahapan produksi, prosesing atau penyiapan makanan, serta memperkirakan resiko yang akan terjadi dan menentukan prosedur operasi untuk prosedur kontrol yang efektif (Bryan, 1992). Sistem *HACCP* merupakan alat yang tepat untuk menetapkan sistem pengendalian karena berfokus pada

pencegahan dari pada pengujian produk akhir. *HACCP* dapat diterapkan pada seluruh rantai pangan dari produk primer sampai pada konsumsi akhir dan penerapannya harus dipandu oleh bukti secara ilmiah terhadap resiko kesehatan manusia.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada tahun 2007. Perbaikan proses pengolahan mi basah dari tepung ubi jalar dilakukan di Laboratorium BB Pascapanen Bogor. Perlakuan penelitian ini adalah penerapan *HACCP* dan non *HACCP*, dengan diulang 3 kali. Pengamatan dilakukan terhadap bahan baku (tepung ubi jalar, tapioka, dan air), analisa proses (pembuatan biang, pengadukan adonan, pencetakan, pemasakan, perendaman, penirisan dan pengemasan). Studi *HACCP* pada proses pengolahan mi sagu menggunakan Panduan Penyusunan Rencana *HACCP* (BSN-Pedoman 1004-1999). Alat bantu lain yang digunakan adalah daftar bahan baku dan bahan penunjang, bagan alir proses produksi, tabel penentuan tingkat resiko, dan *CCP decision tree* (pohon keputusan *CCP*). Gambar 1 menunjukkan pohon keputusan yang digunakan sebagai alat bantu untuk menentukan *CCP* atau titik kendali kritis, dimana pohon keputusan harus menyatakan pendekatan pemikiran yang logis (masuk akal). Sedangkan proses penyusunannya berdasarkan 7 prinsip sistem *HACCP* yang direkomendasikan oleh Standar Nasional Indonesia (1998) yang dikeluarkan oleh BSN (1999), yang meliputi :

1. Prinsip 1 : Analisis bahaya dan pencegahannya
2. Prinsip 2 : Identifikasi *Critical Control Points (CCPs)* di dalam proses
3. Prinsip 3 : Menetapkan Batas Kritis untuk setiap *CCP*
4. Prinsip 4 : Menetapkan cara pemantauan *CCP*
5. Prinsip 5 : Menetapkan tindakan koreksi
6. Prinsip 6 : Menyusun Prosedur Verifikasi
7. Prinsip 7 : Menetapkan prosedur pencatatan (dokumentasi)



Gambar 1. Pohon Keputusan *CCP*

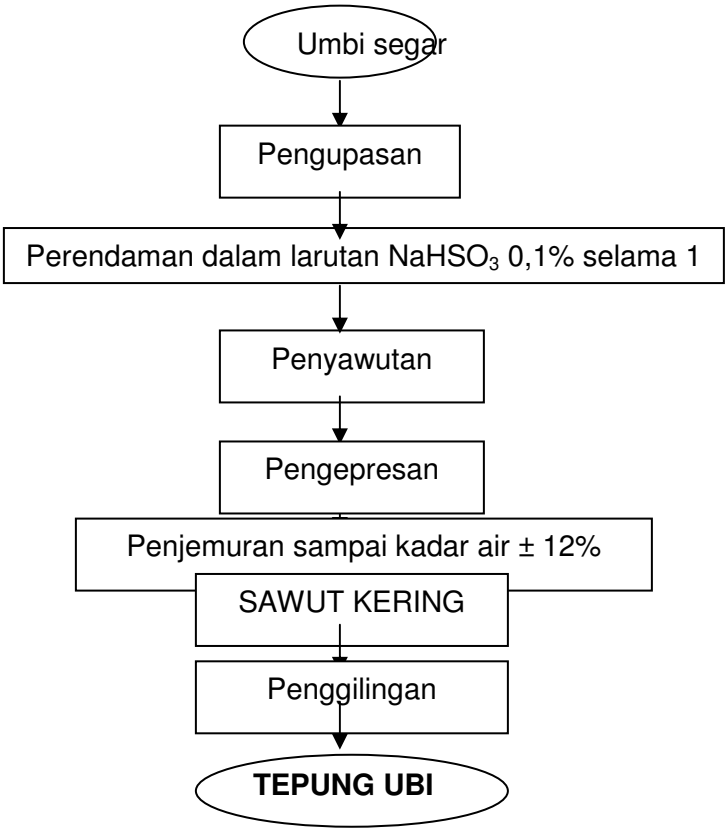
Analisa bahaya dilakukan dengan mengidentifikasi semua bahaya baik yang terdapat pada bahan baku maupun tahapan proses. Bahaya yang teridentifikasi kemudian disusun dalam sebuah tabel disertai sumber bahaya, tingkat resiko, dan tindakan pencegahannya. Tingkat resiko ditentukan berdasarkan seberapa besar akibat yang ditimbulkan oleh suatu bahaya dan seberapa sering bahaya tersebut mungkin terjadi. Penentuan *CCP* didasarkan pada pertimbangan tingkat resiko dan memerlukan pengendalian supaya tidak berbahaya bagi kesehatan manusia. Tahapan proses yang tidak termasuk *CCP*, dapat termasuk *Control Point (CP*) yang berarti tahapan tersebut apabila tidak dikendalkan dengan baik dapat menyebabkan kecacatan dari segi kualitas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Bahaya Bahan Baku Pembuatan Mi Basah Ubi Jalar

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan mi basah dalam penelitian ini antara lain tepung ubi jalar, tapioka (pati ubi kayu), air, CMC (karboksimetilselulosa), garam dan minyak goreng. Sedangkan proses penepungan ubi jalar mentah menjadi tepung ubi jalar sebagai bahan dasar pembuatan mi basah ubi jalar dapat dilihat pada Gambar 2. Tapioka dan bahan pembantu CMC dibeli dari Pasar Anyar, Bogor.

Tepung ubi jalar mengandung bahaya kimia dan mikrobiologi yang berasal dari air. Pada penepungan ubi jalar, air digunakan untuk merendam ubi jalar dalam larutan yang sudah diberi Natrium Bisulfit 0,1% selama 1 jam untuk mencegah reaksi pencoklatan yang biasa terjadi pada umbi-umbian yang sudah dikupas (Gambar 2). Air menjadi berbahaya jika tidak bersih atau sudah tercemar oleh logam berat. Air dapat menjadi bahaya mikrobiologi, jika air tersebut sudah tercemar oleh bakteri koliform, *Eschericia coli, Vibrio cholerae,* dan *Shigella sp.* Keberadaan fekal koliform pada air merupakan indikasi adanya kontaminasi fekal dan bakteri enterik lainnya (Schmitt dkk., 1997). Dalam proses produksi pengolahan makanan tidak diperbolehkan menggunakan air permukaan, tetapi harus air sumur/PAM. Air sumur/PAM lebih sedikit mengandung mikroorganisme dari pada air permukaan, dan dalam penggunaannya air ini selalu mengalami perebusan terlebih dahulu sehingga aman dikonsumsi (Waryat dkk., 2004). Bahaya mikroorganisme lain berasal dari jamur, jika proses pengeringan tidak sempurna sehingga kadar air pada tepung ubi jalar masih cukup tinggi, maka hal tersebut memungkinkan tumbuhnya berbagai macam jamur sehingga berdasarkan pertimbangan tingkat resiko tersebut tepung ubi jalar ditetapkan sebagai CCP.



Gambar 2. Diagram alir pengolahan tepung ubi-ubian skala kecil (Suismono, 1999)

CMC (Karboksimetilselulosa) menjadi *CP* jika dosis yang digunakan berlebihan. Hal tersebut biasanya disebabkan oleh ketidakjelian yang dilakukan oleh operator dalam penimbangan, sehingga dalam menambahkan CMC yang digunakan sebagai bahan pembentuk tekstur mi dalam produk akhir perlu dilakukan dalam takaran yang benar. Pada garam tidak teridentifikasi bahaya, hanya apabila jumlahnya kurang atau lebih akan berdampak pada rasa produk mi basah yang dihasilkan.

Minyak goreng menjadi *CP* karena adanya kontaminasi silang yang berasal dari mikrobia. Penambahan minyak untuk membuat adonan agar tidak lengket harus diperhatikan agar dilakukan sehigienis mungkin, karena akan mempengaruhi kualitas akhir dari produk mi yang dihasilkan. Monitoring dapat dilakukan dengan pengamatan secara visual terhadap minyak (ketengikan) pada setiap proses.

Tabel 1. Analisis bahaya bahan baku mi basah ubi jalar dengan campuran pati ubi kayu (tapioka)

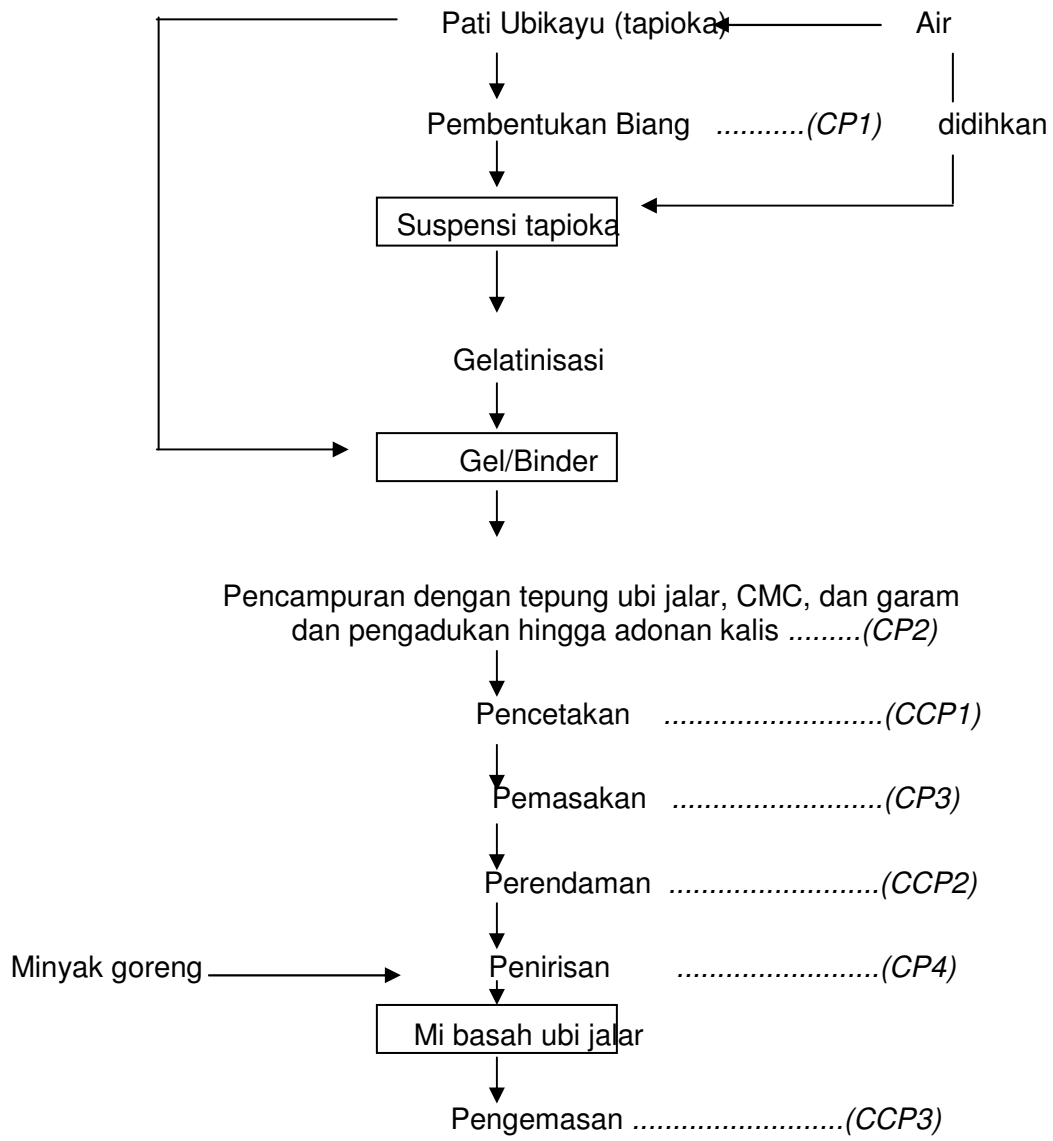
No	Bahan Baku	Bahaya	Bahaya terhadap		Penyebab bahaya	Penting tidaknya			Tindakan Pengendalian
			Kesela-matan	Mutu		Peluang (T/S/R)	Keparahan (T/S/R)	Penting /Tidak (T/S/R)	
1.	Tepung ubi jalar	K : Logam berat M : Jamur, bakteri	√	√	K : residu logam berat dlm air M : kontaminasi selama proses penyawutan dan pengeringan	T T	T T	T T	- penggunaan air untuk perendaman, pencucian harus air yang bersih dan higienis - pengeringan sampai KA yg dipersyaratkan (<13%)
2.	Pati ubikayu (tapioka)	K : Logam berat M : Jamur, bakteri	√	√	K : residu logam berat dlm air M : kontaminasi selama proses penyawutan dan pengeringan di tempat produksi	S S	S S	S S	- penggunaan air untuk perendaman, pencucian harus air yang bersih dan higienis - pengeringan sampai KA yg dipersyaratkan (<13%)
3.	CMC	K : Dosis tidak tepat/berlebihan	√	√	- Ketidakjelian operator dalam penimbangan - Tidak keliru memilih bahan pembantu	R	R	R	- Menimbang dengan tepat

					proses pengolahan				
4.	$NaHSO_3$	K : Dosis tidak tepat/ berlebihan	√	√	- Ketidakjelian operator dalam penimbangan - Tidak keliru memilih bahan pembantu proses pengolahan	R	R	R	-Menimbang dengan tepat
5.	Air	K : logam berat M : bakteri *E.coli, Shigella sp., V. cholerae*	√	√	K : Residu logam berat dlm air M : Sbr air yg digunakan tdk bersih	T	T	T	-Tidak menggunakan air kotor -Tidak menggunakan air permukaan -merebus air sampai matang
6.	Garam	Tidak teridentifikasi bahaya							
7.	Minyak goring	Tidak teridentifikasi bahaya							

Keterangan : K : Kimia; M : Mikrobiologi; F : Fisik; T : Tinggi; S : Sedang; R : Rendah.

3.2. Analisa Bahaya pada Proses Pembuatan Mi Basah

Pembuatan mi basah terdiri dari beberapa tahap yaitu pembuatan biang, pembentukan adonan, pencetakan, pemasakan, perendaman, penirisan kemudian penambahan minyak goreng untuk mencegah mi menjadi lengket dan menempel satu helai dengan lainnya, lalu terakhir pengemasan (Gambar 3).



Gambar 3. Diagram alir pembuatan mi basah dari tepung ubi jalar dengan campuran pati ubi kayu

Biang disiapkan dengan cara menambahkan air mendidih ke dalam suspensi pati ubikayu (tapioka) sehingga membentuk gel. Selanjutnya kedalam biang ditambah tepung ubi

jalar, CMC, dan garam sambil terus diaduk secara manual atau secara mekanis dengan alat pengaduk 'molen' hingga adonan kalis dan siap dicetak. Setelah dicetak, mi dimasak dalam panci besar berisi air mendidih hingga terapung, diangkat dan direndam dalam air selama beberapa menit. Mi diangkat, ditiriskan, dan diberi minyak agar tidak lengket. Setelah beberapa saat mi siap dikemas untuk dipasarkan.

Berdasarkan pertimbangan tingkat resiko dan jawaban atas pertanyaan *CCP decision tree*, pada tahap proses produksi ini ditetapkan 3 (tiga) tahap yang termasuk *CCP* dan 4 (empat) tahap yang termasuk *CP*. Tahapan yang termasuk *CCP* yaitu pencetakan, perendaman dan pengemasan (Tabel 2). Tahapan yang termasuk *CP* ialah pembentukan biang, pengadukan, pemasakan, dan penirisan (Tabel 3). Pembentukan biang menjadi penting dan menjadi *CP1* karena merupakan tahap awal pembuatan mi basah, yang akan menentukan kualitas mi basah yang dihasilkan. Penggunaan air dan pati ubi kayu (tapioka) yang berkualitas menjadi penting untuk menghindari adanya kontaminasi baik mikrobiologi maupun kimia. Proses ini dilakukan secara manual (menggunakan tenaga manusia), sehingga tangan operator dan peralatan yang digunakan harus bersih, dimana monitoring dilakukan dengan pemeriksaan secara visual pada setiap proses. Pencetakan menjadi *CCP1* karena penggunaan mesin pencetak mi yang tidak bersih akan mengakibatkan adanya kontaminasi silang antara peralatan dengan adonan mi, sehingga peralatan yang digunakan harus selalu bersih dan higienis. Oli yang digunakan sebagai bahan pelumas juga harus diperhatikan agar tidak bersentuhan langsung dengan mi yang keluar dari alat pencetak hidrolik yang digunakan, karena bisa menjadi bahan berbahaya yang bisa terpenetrasi ke dalam mi basah yang dihasilkan tersebut.

Pengadukan menjadi *CP2* karena selain bisa dilakukan secara manual, pengadukan juga bisa menggunakan peralatan 'molen' yang bisa mengakibatkan adanya kontaminasi silang dengan peralatan. Proses ini mensyaratkan tangan operator harus selalu bersih dan peralatan harus selalu dicuci setelah dipakai. Pemasakan menjadi *CP3* karena kemungkinan terjadi kontaminasi logam berat yang berasal dari air yang digunakan untuk memasak. Pemasakan dimonitor dengan penggunaan sumber air yang bagus (air sumur/PAM). Frekuensinya dilakukan setiap proses. Jika didapati air kurang memenuhi syarat maka harus segera diganti dengan air yang bebas kontaminan. Proses pemasakan dilakukan selama 1 menit, yang ditandai dengan helain mi yang mengapung. Jika pemasakan kurang (<1 menit) mi akan kurang matang, dan jika pemasakan >1 menit maka akan menyebabkan kualitas mi

menurun yang ditandai dengan mi yang rapuh. Pemasakan yang terlalu lama juga akan menyebabkan pemborosan energi.

Perendaman menjadi *CCP2* (Tabel 4) karena tahap ini kemungkinan terjadi kontaminasi silang (mikrobia dan logam berat) dari air yang digunakan untuk merendam. Pada tahap ini batas kritisnya yaitu penggunaan air yang bebas kontaminan dan higienis. Penirisan menjadi *CP4* karena pada tahap ini kemungkinan terjadi kontaminasi silang (mikrobia dan lingkungan) yang bisa mengakibatkan mi basah tercemar. Sehingga pada tahap ini proses penirisan harus menggunakan peralatan yang bersih dan sanitasi lingkungan tempat untuk meniriskan harus diperhatikan sehingga mikrobia tidak tumbuh dengan cepat. Kondisi penirisan harus seaseptis mungkin. Alat peniris yang digunakan haruslah merupakan alat yang anti karat (*stainless steel*). Apabila alat peniris bukan alat yang anti karat, dikhawatirkan ada komponen material yang bermigrasi ke dalam produk mi basah yang dihasilkan.

Pengemasan menjadi *CCP3* karena proses pengemasan yang tidak sempurna (misalnya *seal* tidak rapi sehingga ada bagian plastik pengemas yang bocor/bolong sehingga menyebabkan kontak dengan udara luar dan mikroorganisme) dapat berakibat kepada penurunan mutu mi basah yang dihasilkan. Oleh karena produknya merupakan mi basah yang rentan terkena serangan mikroorganisme (jamur, bakteri, kapang) maka pengemasan dan perlakuan setelah pengemasan (penyimpanan lebih lanjut) memainkan peranan sangat penting dalam kaitannya dengan penjagaan kualitas mi basah ubi jalar dengan campuran pati ubi kayu ini hingga sampai di tangan konsumen.

3.3. Dokumentasi dan Verifikasi

Setelah dianalisa bahaya dan penetapan *CCP* selesai dilakukan dan telah didokumentasikan dalam rencana *HACCP*, maka tahap selanjutnya dilakukan penetapan prosedur dokumentasi dan verifikasi. Pada skala UKM (Usaha Kecil-Menengah), proses dokumentasi hendaknya dilakukan oleh dinas pertanian dengan dinas terkait, sedang proses verifikasi dapat dilakukan oleh penyuluh sekaligus menjadi proses audit untuk meyakinkan bermanfaatnya penerapan sistem *HACCP* yang telah disusun, sehingga cukup dengan mengendalikan proses-proses yang ditetapkan sebagai *CCP*.

Tabel 2. Analisis bahaya proses pembuatan mi basah ubi jalar dengan campuran pati ubi kayu (tapioka)

No.	Bahan Baku	Bahaya	Bahaya terhadap		Penyebab bahaya	Penting tidaknya			Tindakan Pengendalian
			Kesela-matan	Mutu		Peluang (T/S/R)	Keparahan (T/S/R)	Penting/Tidak (T/S/R)	
1.	Pembuatan Biang	K : Logam berat M : bakteri *E.coli, Shigella sp., V. .cholerae;* kontaminasi silang peralatan & tangan operator	-	√	K : residu logam berat dlm air M : kontaminan dalam air	T T	T T	T T	penggunaan air utk perendam an, pencucian, yg bersih dan higienis
2.	Suspensi tapioka	Tidak teridentifikasi bahaya							
3.	Gelatinisasi	Tidak teridentifikasi bahaya							
4.	Gel/Binder	Tidak teridentifikasi bahaya							
5.	Pengadukan hingga adonan kalis	M : kontaminasi silang dengan peralatan (baskom)	-	√	M : Peralatan (baskom) yang tidak bersih dan higienis	R	R	R	Cuci peralatan (baskom, dll) sampai bersih
6.	Pencetakan	K : Kontaminasi bahan pelumas pada alat pencetak hidrolik M : kontaminasi silang dengan mikrobia pada peralatan	-	√	K : Pelumas yang kontak dengan helaian mi M : Peralatan yang tidak bersih	S T	S T	S T	Lumasi alat pencetak secara berkala, cuci peralatan sampai benar-benar bersih dan saniter, tidak ada bekas adonan yang menempel karena dapat dihinggapi mikrobia

		pencetakan			dan higienis				
7.	Pemasakan	K : logam berat M : bakteri *E.coli, Shigella sp., V. Cholerae*	√	√	K : Residu logam berat dlm air M : Sumber air yg digunakan tdk bersih	S	S	S	Tidak menggunakan air kotor; tidak menggunakan air permukaan; merebus air sampai matang
8.	Perendaman	M : Kontaminasi silang dengan mikrobia dan logam berat	√	√	M : Adanya kontaminasi silang dari mikrobia akibat air yang digunakan	T	T	T	Gunakan air masak dan bersih; tempat perendaman harus higienis
9.	Penirisan	K : Migrasi komponen alat peniris M : Kontaminasi mikrobia dari udara bebas	- √	√ √	K : Adanya migrasi komponen bahan peniris pada mi M : Ruang penirisan yang tidak bersih		S S	S S	Gunakan alat peniris yang aman dan anti karat (*stainless steel*) Bersihkan ruangan dari debu-debu dan kontaminan mikrobia
10.	Pengemasan	K : Migrasi bahan pengemas dari plastik	√	√	K : Bahan plastik tidak *foodgrade*	T	T	T	Gunakan plastik pengemas makanan (*foodgrade*), lakukan *sealing* dengan

		M : Kontaminasi silang dengan mikrobia (jamur, kapang, bakteri) dari lingkungan			M : Proses *sealing* yang tidak sempurna				sempurna

Keterangan : K : Kimia; M : Mikrobiologi; F : Fisik; T : Tinggi; S : Sedang; R : Rendah.

Tabel 3. Matrik *CCP* pada proses pengolahan mi basah ubi jalar dengan campuran ubi kayu (tapioka)

Tahap	CP No.	Jenis Bahaya	Batas Kritis	Monitoring		Tindakan Koreksi
				Metode	Frekuensi	
Pencetakan	1	Kimia	Alat pencetak hidrolik yang digunakan bersih, saniter, bebas dari cemaran bahan pelumas	Cek alat pencetak agar selalu kering dan bersih	Setiap proses	Ulangi proses pencetakan
		Mikrobiologi		Cek kebersihan alat pencetak	Setiap proses	Ulangi proses pencetakan
Perendaman	2	Mikrobiologi	Alat pencetak hidrolik yang digunakan bersih, saniter, bebas dari cemaran mikrobia yang mungkin tertinggal pada bekas	Cek sumber air dan gunakan air matang	Setiap proses	Ganti air dengan air yang benar-benar bersih; masak air
	3	Kimia			Setiap proses	

Pengemasan		Mikrobiologi	adonan yang menempel Sumber air yang digunakan bersih, bebas mikrobia dan kontaminan logam berat Plastik pengemas *foodgrade*, *sealing* sempurna Kemasan tidak bocor dan tidak kembung	Cek hasil pengemasan Cek hasil pengemasan	Setiap proses	sampai matang Ulangi proses pengemasan Ulangi proses pengemasan

Tabel 4. Matrik *CP* pada proses pengolahan mi basah ubi jalar dengan campuran ubi kayu (tapioka)

Tahap	CP No.	Jenis Bahaya	Batas Kritis	Monitoring		Tindakan Koreksi
				Metode	Frekuensi	
Pembentukan Biang	1	Kimia Mikrobiologi	Sumber air yang digunakan bersih bebas mikrobia, air sudah mendidih sempurna	Cek sumber air	Setiap proses	Ganti air dengan air yang benar-benar bersih dan sudah mendidih sempurna
Pengadukan	2	Kimia		Pastikan peralatan yang digunakan bersih	Setiap proses	
	3	Kimia	Peralatan		Setiap proses	Lakukan

Pemasakan		Mikrobiologi	yang digunakan bersih	Cek alat perebus	Setiap proses	kembali proses yang benar
				Cek sumber air		Cuci peralatan sampai bersih
	4	Fisik	Sumber air yang digunakan bersih bebas kontaminan		Setiap proses	
Penirisan		Mikrobiologi	logam berat dari panci perebus/alat pemasak dan mikrobia		Setiap proses	Ganti air dengan air bersih dan sudah mendidih sempurna
			Alat peniris anti karat dan aman untuk makanan (*foodgrade)*			Gunakan alat peniris anti karat dan aman untuk makanan (*foodgrade*)
			Ruang di tempat penirisan harus saniter, bebas debu dan kontaminan mikrobia			Bersihkan ruangan tempat penirisan mi

4. KESIMPULAN

1. Hasil studi *HACCP* terhadap proses pengolahan mi basah ubi jalar dengan campuran pati ubi kayu (tapioka) maka ditetapkan satu dua yang termasuk *CCP* yaitu tepung ubi jalar, $NaHSO_3$ dan air.
2. Pada proses produksi mi basah ubi jalar dengan campuran pati ubi kayu (tapioka) terdapat 3 (tiga) tahap yang termasuk *CCP* dan 4 (empat) tahap yang termasuk *CP*.Tahapan yang termasuk *CCP* yaitu pencetakan, perendaman dan pengemasan sedangkan tahapan yang termasuk *CP* yaitu pembentukan biang, pencampuran dengan bahan-bahan lain/ pengadukan adonan, pemasakan dan penirisan.
3. Dengan ditetapkannya *CCP* pada proses pembuatan mi basah ubi jalar dengan campuran pati ubi kayu tapioka ini diharapkan mutu dan keamanan pangan produk mi basah terjamin.

DAFTAR PUSTAKA

Bryan. 1992. *Hazard Analysis Critical Control Point Evaluations*. World Health Organization. Geneva.

Badan Standardisasi Nasional (BSN). 1999. Pedoman Penyusunan Rencana Sistem Analisa Bahaya dan Pengendalian Titik Kritis (HACCP). Badan Standardisasi Nasional. Pedoman 1004-1999.

Collado, L.S. & Corke, H. 1996. Use of wheat-sweet potato composite flour in yellow-alkaline and white-salted noodles. J. of Cereal Chemistry (73): 439-444.

Collins, J.L. & Pangloli, P. 1997. Chemical, physical and sensory attributes of noodles with added sweetpotato and soy flour. J. of Food Science (62): 622-625.

Feillet, P. & Dexter, J.E. 1996. Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. In J.E. Kruger, R.B. Matsuo & J.W. Dick (Eds.), Pasta and noodle technology (pp. 95-131). Minnesota:AACC.

Jamrianti, R. 2007. Ubi Jalar, Saatnya Menjadi Pilihan. Artikel Iptek. http://www.berita iptek.com. Diakses tanggal 1 Februari 2008.

Schmitt, R.; Bryan F.L.; Jermini,M.; Chilufya, A.N.; Hakalima, A.T.; Zyuulu, M.; Mfume, E.; Mwande, C.; Mullungushi, E.; dan Lubasi, D. 1997. Hazard and Critical Control Point of Food Preparation in Homes in Which Person Had Diarrhea in Zambia. J. Food Protein.60:2:161-171.

Standar Nasional Indonesia (SNI). 1998. Sistem Analisa Bahaya dan Pengendalian Titik Kritis. Departemen Perindustrian Indonesia. SNI 01-4852-1998.

Suismono. 1999. Teknologi Pengolahan Produk Setengah Jadi Ubi-ubian. Makalah disampaikan pada Pelatihan Peningkatan Nilai Tambah Ubi-ubian untuk Ekspor, tanggal 12-16 Juli 1999 di Balai Pendidikan dan Pelatihan Pasca Panen. Depkop-PPK, Cibitung.

Waryat; Tessar Ramdhan; dan Syarifah Aminah. 2004. Studi HACCP pada Proses Pembuatan Minuman Tradisional Betawi ”Bir Pletok Cair”. Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Daya Saing pangan Tradisional. BB Pasca Panen Pertanian: 98-108.

KADAR UNSUR HARA KOMPOS BAHAN BAKU SAMPAH RUMAH TANGGA

Winarsih, Sri Mulyaningsih
Prodi Pendidikan Sains FMIPA UNESA
Email : sainsunesa@gmail.com

Abstrak

Sampah merupakan suatu permasalahan bangsa. Sampah dapat diselesaikan bilamana setiap manusia dapat mengolah sampahnya sendiri. Pemilahan sampah merupakan langkah awal dalam mengolah sampah. Kegiatan pemberdayaan masyarakat dalam memilah sampah dari rumah menindaklanjuti SK Walikota Surabaya Nomor 273 Tahun 1991 dan Instruksi Walikota Surabaya Nomor 12 Tahun 2002. Pemilahan sampah berdasar sampah basah (organik yang mudah membusuk) dan sampah kering (sampah organik yang lama membusuk dan sampah anorganik). Penelitian ini bertujuan untuk 1) mengetahui respon warga dalam memilah dan mengolah sampah basah di rumah, dan 2) kadar hara kompos berbahan baku sampah basah. Sasaran kegiatan ialah warga *se* Kelurahan Jambangan terutama ibu-ibu PKK, petugas pengangkut sampah dan kadar hara kompos berbahan baku sampah rumah tangga. Metode kegiatan meliputi 1) *tahap pertama*, Lurah mengundang para tokoh masyarakat (pengurus RT, RW, PKK) di Balai Kelurahan untuk sosialisasi pemilahan sampah (sampah basah atau kering) dan mengolah sampah kering (dijual lagi atau didaur ulang), 2) *tahap ke du*a, para tokoh masyarakat menyampaikan ke warga masing-masing dalam pertemuan warga (PKK), *tahap ke-tiga* mengolah sampah basah menjadi kompos di depo sampah Kelurahan Jambangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 50% warga memilah sampah dengan benar, 30% warga sudah mengolah sampah di rumah, sedangkan 20% warga tidak memilah dengan berbagai alasan. Kompos yang sudah dipilah dengan benar selanjutnya dirajang dengan mesin perajang sampah basah. Hasil rajangan sampah basah dikumpulkan di komposter komunal. Mesin perajang sampah basah mampu merajang sampah 2,5 kuintal/jam. Satu buah komposter komunal mampu menampung 2,7 ton sampah basah yang sudah dirajang. Satu buah komposter komunal diisi sampah basah yang telah dirajang seberat 2.316 kg maka akan menjadi kompos seberat 892 kg dalam waktu seminggu. Kualitas unsur hara makro kampos meliputi N (321 ppm), P (13 ppm), K (334 ppm), Ca (68,4 ppm), Mg (12,170 ppm), S (54,170 ppm) dan C/N ratio 15,196.

Kata kunci : sampah basah, sampah kering

1. PENDAHULUAN

Sampah selalu menjadi masalah. Pemasalahan sampah seiring dengan jumlah pertumbuhan penduduk dan gaya hidup manusia dalam memenuhi keperluan hidup sehari-hari. Di kota Surabaya, sampah merupakan satu dari 9 (sembilan) permasalahan kota.

Sebenarnya permasalahan sampah dapat diselesaikan dengan cara mengolah sampah dari sumber sampah seperti di rumah, sekolah, warung,toko atau pasar. Pemilahan sampah merupakan langkah awal dalam pengolahan sampah. Pemilahan sampah yang efektif adalah dari sumber sampah. Sumber sampah terbesar ialah dari kegiatan rumah tangga.

Penyelesaian sampah dengan cara membelajarkan manusia agar peduli atau mau mengolah sampahnya sendiri. Banyak kejadian di lapangan bahwa teknologi tidak dapat berlanjut karena masyarakat tidak paham maksud dari teknologi tersebut. Bagaimana pun canggihnya teknologi tetapi kalau manusia tidak mengerti/paham maka teknologi tersebut akan sia-sia. Maka dari itu kegiatan ini diawali dengan pemilahan dan selanjutnya mengolah sampah rumah tangga.

Kegiatan pemberdayaan masyarakat (sosialisasi) dalam memilah sampah dari rumah tangga ini menindaklanjuti SK Walikota Surabaya Nomor 273 Tahun 1991 dan Instruksi Walikota Surabaya Nomor 12 Tahun 2002. Pemilahan sampah dibedakan atas sampah basah dan sampah kering.

2. BAHAN DAN METODE

Sasaran kegiatan ialah warga *se* Kelurahan Jambangan terutama ibu-ibu PKK dan petugas pengangkut sampah.

Pelaksana kegiatan ialah Tim Dosen Pengalola Sampah Universitas Negeri Surabaya (UNESA) dan mahasiswa Pendidikan Biologi, Pendidikan Kimia yang memprogram mata kuliah Ilmu Pengetahuan Lingkungan, aparat terkait Ketua RT, RW, Lurah dan petugas pengangkut sampah.

Bahan dan alat kegiatan meliputi brosur tentang jenis-jenis sampah (basah, kering), megaphone, gerobak sampah, sekrop, cangkul, masker, mesin perajang sampah basah,solar, olie, komposter komunal, termometer, soil tester, alat uji kadar hara kompos.

Metode kegiatan meliputi 3 (tiga) tahap yaitu (1)sosialisasi pemilahan dan pengolahan sampah di rumah, (2) proses komposting dan uji kompos, dan (3) refleksi tentang hasil pemilahan dan pengolahan sampah yang dilakukan oleh warga.

Pemilahan sampah dibedakan atas sampah basah dan sampah kering. Sampah basah ialah sampah organik yang mudah membusuk seperti sisa makanan (nasi, lauk/ikan, sayur, buah), sisa minuman, ampas kelapa, kulit telur. Sampah kering terdiri dari sampah organik yang langsung dapat dijual seperti kertas, sampah organik yang lama membusuk seperti plastik dan sampah anorganik seperti benda-benda dari kaca, besi, aluminium. Sampah basah diolah menjadi kompos dengan menggunakan alat dari dos, keranjang, atau tong plastik. Warga diberi kebebasan memilah atau mengolah.

Mengolah sampah basah pun diberi kebebasan untuk memilih salah satu alat pengolah sesuai dengan kondisi yang ada di rumah. Bagi warga yang tidak mau mengolah sampah basah di rumah maka harus memilah sampah.

Hasil pilahan sampah basah warga diangkut oleh petugas sampah, selanjutnya akan diolah menjadi kompos oleh petugas di depo sampah Kelurahan Jambangan. Selain itu petugas depo juga memilah lanjutan untuk mengambil sampah basah sebelum sampah-sampah tersebut diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir/TPA di Benowo. Sampah basah dirajang dengan mesin perajang sampah, selanjutnya hasil rajangan dimasukkan di Komposter Komunal. Sampah dibolak-balik dan diatur pintu-pintu komposter agar mendapat sirkulasi udara yang cukup. Kegiatan ini dilakukan secara terus menerus sampai sampah basah memenuhi Komposter Komunal. Pengolahan mengatur sirkulasi udara dan kelembaban dilakukan secara terus menerus sampai kompos matang. Setelah kompos matang, kompos siap dipanen dan diuji kadar hara di laboratorium.

Gambar 1. Sampah basah dimasukkan dalam gelangsing oleh petugas pengangkut sampah

Sosialisasi pemilahan dan pengolahan sampah dari rumah juga secara terus menerus dilakukan agar sampah basah tidak terbuang ke TPA.

Gambar 2. Pemilahan sampah lanjutan oleh petugas depo sampah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kegiatan pemberdayaan warga ialah 50% warga sudah mengolah sampah basah menjadi kompos, 30 % memilah sampah dengan benar, dan sisanya 20% masih salah dalam memilah sampah. Hasil wawancara dengan warga yang masih salah dalam memilah sampah seperti dalam rangkuman pernyataan berikut:

1. sampah yang telah dipilah diorak-arik oleh pemulung
2. sampah yang sudah dipilah dicampur lagi oleh petugas pengangkut sampah
3. setiap rumah harusnya ada bak sampah
4. warga sudah membayar retribusi untuk apa memilah sampah
5. sampah langsung dibuang ke sungai
6. sampah dibakar
7. tidak mendapat manfaat langsung dari memilah sampah
8. tokoh masyarakat (RT, RW) tidak memilah sampah
9. sibuk

Gambar 3. Hasil kompos

Belajar dapat didefinisikan sebagai setiap perubahan tingkah laku yang relatif tetap dan terjadi sebagai hasil latihan atau pengalaman. Definisi ini mencakup 3 (tiga) unsur yaitu (1) belaajr adalah perubahan tingkah laku, (2) perubahan terjadi karena pengalaman dan (3) perubahan tersebut harus relatif permanen dan tetap ada untuk waktu yang cukup lama. Seperti belajar dalam mengolah sampah basah menjadi kompos. Wujud fisik sampah basah ialah berair dan mengeluarkan bau. Kondisi seperti ini yang menjadi kendala bagi warga untuk memilah dan mengolah sampah basah. Namun bila warga diberi tahu cara mengolah yang benar dan bersih tanpa menimbulkan dampak buruk maka warga juga mau memilah dan mengolah. Karena di balik sifat fisik tersebut memilah dan mengolah sampah dapat mengurangi volume sampah yang dibuang ke TPA, umur TPA lebih panjang, dan kompos dari sampah merupakan kompos sehat. Hasil kajian para pakar lingkungan, diperkirakan tahun 2009 TPA Benowo sudah penuh. Padahal kota Surabaya hanya memiliki 1 (satu) TPA. Mengingat kondisi TPA yang perlu perubahan sikap dan hasil kompos yang aman bagi manusia maka program pemilahan dan pengolahan sampah merupakan suatu kebutuhan bersama. Hanya yang perlu diperhatikan ialah kita harus paham tentang tata cara membelajarkan warga (khusunya ibu-ibu sebagai penghasil sampah dan petugas sampah). Peran dari warga tersebut ialah

sangat heterogen kemampuannya yang berpengaruh juga terhadap kemauan atau kepedulian.

Dalam proses belajar, seorang dewasa cenderung berkeinginan untuk menentukan apa yang ingin dipelajari serta membandingkan dan menghubungkan pengetahuan baru dengan pengalaman-pengalaman belajar yang telah dimiliki sebelumnya. Dengan demikian proses belajar orang dewasa lebih bersifat demokratis. Maka dari itu bagi warga yang mau mengolah sampah basah di rumah bebas menggunakan alat pengolah yang diinginkan.

Dengan demikian pendekatan terhadap mereka tentang apa yang dipelajari adalah praktis dan mengarah pada pemecahan masalah. Yang penting bagi mereka adalah bagaimana mengaplikasikan sesuatu dan bagaimana memecahkan masalah, bukan sekedar pengetahuan dan teori-teori. Dengan demikian mereka memerlukan contoh dan non-contoh aplikasi pengetahuan dan teori dalam kehidupan sehari-hari. Seperti pernyataan mereka bahwa bapak ketua RT dan ketua RW tidak memilah atau mengolah sampah maka dapat mengurangi motivasi warganya untuk memilah dan mengolah sampah.

Warga dalam memilah dan mengolah sampah perlu pendamping sebagai tempat bertanya jika ada masalah. Dengan demikian belajar adalah proses saling bertukar pendapat, bukan menunggu perintah/petunjuk. Kegiatan diskusi, tanya jawab dan jawaban yang jelas dapat membantu membina rasa tanggungjawab warga dalam melakukan pemilahan dan pengolahan sampah basah. Pembelajaran kepada warga lebih mengutamakan pemberian informasi yang relevan dan netral. Peran pendamping ialah sebagai fasilitator yaitu membantu mahaiswa dalam mengambil keputusan dan menyeleksi informasi, seperti kapan sampah basah dirajang, diaduk atau panen kompos. Seperti pendapat warga tentang sampah dibuang ke sungai dan sampah dibakar. Mereka melakukan perbuatan seperti itu karena belum tahu akibatnya. Apalagi akibat itu langsung juga berdampak pada mereka dan keluarganya. Sampah yang dibuang ke sungai apalagi sungai tersebut merupakan bahan baku air minum warga kota Surabaya. Tentunya orang yang membuang sampahnya ke surabaya berarti dapat meracuni warga kota Surabaya. Begitu juga dengan orang yang membakar sampah tentunya akan menghasilkan banyak senyawa beracun yang dinamakan dioksin. Kedua perbuatan ini akan menyengsarakan orang lain atau bankan keluarganya.

Mereka yang berkomentar, untuk apa memilah sampah kan sudah membayar retribusi, malas atau sibuk. Memang dasar manusia ialah hedonisme. Pada dasarnya manusia ingin bahagia tanpa besusah payah. Pandangan mereka yang kurang antusiasme tentunya dapat dikurangi dengan cara menindaklanjuti melalui komunikasi

pada saat pertemuan warga yaitu PKK baik di RT, RW, Kelurahan, pertemuan bapak-bapak.

Hasil pilahan sampah basah dikumpulkan di depo sampah. Kemudian oleh petugas depo dirajang dengan mesin perajang sampah basah. Hasil rajangan sampah basah dikumpulkan di komposter komunal. Mesin perajang sampah basah mampu merajang sampah 2,5 kuintal/jam.Satu buah komposter komunal mampu menampung 2,7 ton sampah basah yang sudah dirajang. Satu buah komposter komunal diisi sampah basah yang telah dirajang seberat 2.316 kg maka akan menjadi kompos seberat 892 kg dalam waktu seminggu. Kualitas unsur hara makro kampos meliputi N (321 ppm), P (13 ppm), K (334 ppm), Ca (68,4 ppm), Mg (12,170 ppm), S (54,170 ppm) dan C/N ratio 15,196.

Gambar 4. Kompos yang dipupukkan pada tanaman tomat

4. KESIMPULAN

1. Perlu pembelajaran yang terus menerus kepada warga baik untuk memilah maupun mengolah sampah dari sumber sampah.
2. Kadar unsur hara pada kompos berbagahn baku sampah rumah tangga meskipun kecil namun dapat menyuburkan tanaman.

5. PROSPEK

Manfaat kegiatan pemberdayaan warga dalam mengolah sampah rumah tangga dapat:

1. Mengurangi volume sampah yang dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir.
2. Menghasilkan kompos (hasil ayakan kasar) yang menyuburkan tanaman tomat sehingga berbuah lebat.
3. Kompos aman bagi tubuh (sehat) dan menghasilkan makanan yang sehat pula.

UCAPAN TERIMAKASIH

1. Lurah Jambangan, Ketua RT, RW *se* Kelurahan Jambangan yang telah memfasilitasi pertemuan dengan warga.
2. Dinas Proyek Pelaksanaan Sarana Permukiman (P2SP) Jawa Timur yang telah memfasilitasi sarana fisik pengolahan sampah (bangunan tempat pengolahan sampah, mesin perajang sampah basah, mein perajang sampah plastik).
3. Yayasan ULI Peduli, PT Unilever Indonesia yang telah memfasilitasi pembelajaran masyarakat dalam mengolah sampah.
4. Dinas Kebersihan, Pertamanan dan Pemakaman (DKP) Pemerintah Kota Surabaya yang telah memberi ijin lokasi untuk depo sampah Kelurahan Jambangan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2006. *Sustainable Asia 2005 and Beyond*. New York : IGES

Pannen, P. dan Ida M.S. 2001. *Pembelajaran Orang Dewasa*. Jakarta : PAU untuk Peningkatan dan Pengembangan Aktivitas Instruksional Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Departemen Pendidikan Nasional.

Soekamto,T dan Udin S.W. 1997. *Teori Belajar dan Model-model Pembelajaran*. Jakarta : PAU untuk Peningkatan dan pengembangan Aktivitas Instruksional Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Tchobanologlous, G., Hillary T, and Samueel V. 2003. *Integrated Solid Waste Management*. New York : Mc-Graw Hill

TANTANGAN DAN KENDALA PENGEMBANGAN KOMODITAS PENGHASIL BAHAN BAKAR NABATI (BIOFUEL): STUDI KASUS DI BALI DAN NUSA TENGGARA

Hamim dan Miftahudin

Departemen Biologi FMIPA IPB

Abstract

Due to the decrease of fossil fuel reserve, utilization of biofuel is become important. A fundamental policy of biofuel utilization is that this program should not disturb the supply of oil for our food. Therefore the biofuel must be produced from non-edible oils. Furthermore, the production must also be carried out beyond the area of the fertile lands that are normally used to produce food. In the other word the program must be conducted on the marginal lands without disturbing the function of our forest. Because of land use and availability, the development of biofuel program must be directed to produce qualified plant with high biofuel yield. The strategic step can be done by development of special crops and/or forest plants that have ability to produce oil, since the available land sometimes is in forest area, such as in Karangasem, Bali and Sumbawa, West Nusa Teggara. Physic nut (*Jatropha curcas* L.) and nyamplung (*Calophyllum inopyllum* L.) are among the plants that have good prospect to produce oil because of their oil seed content. These two species are also able to grow well under marginal land with dry condition and lower soil nutrition. Indonesian people are also familiar with these two kinds of plant. Under good conditions *Jatropha curcas* and *Calophyllum inopyllum* has been predicted to be able to produce biofuel up to 2000 and 3744 kg respectively. Furthermore, because Calophyllum is kind of forest tree, this plant can be used as revegetation plant for critical land including forest area. Mean while to reach a good result, a strong collaboration between the government and researchers must been attempted to provide qualified genetic resources of these two plants with their cultivation technology.

Key words: Jarak pagar, Jatropha, Nyamplung, Calophyllum, Biofuel

1. PENDAHULUAN

Semakin menipisnya persediaan minyak dunia telah memacu berbagai negara di dunia untuk mencari alternatif sumber minyak yang dapat diperbaharui, yaitu melalui pengembangan bahan bakar dari minyak nabati (biofuels). Akhir-akhir ini sebagian dari minyak kelapa sawit, kelapa hingga kedelai telah dialokasikan sebagai bahan baku untuk bahan bakar sehingga mengakibatkan meningkatnya harga minyak untuk keperluan pangan. Bahkan pada tingkat dunia pemanfaatan kedelai sebagai bahan baku minyak nabati meduduki urutan kedua setelah minyak rapa (*rape seed oil*, Mittelbach 2008). Hal ini bisa menimbulkan permasalahan pangan yang serius, sehingga berdampak pada ketidakstabilan

sosial dan ekonomi suatu negara. Oleh karenanya pengembangan biofuel dari bahan baku yang bukan merupakan bahan pangan (*non-edible product*) adalah sebuah keniscayaan.

Persaingan dengan pangan adalah suatu kata kunci yang bila diterjemahkan di satu sisi bisa mengandung arti bukan merupakan minyak untuk makanan seperti kelapa atau kelapa sawit. Namun di sisi lain juga bisa berarti bahwa pelaksanaan produksinya bukan pada lahan-lahan subur yang digunakan untuk produksi pangan seperti sawah atau kebun. Hal tersebut berarti bahwa usaha produksi bahan bakar nabati harus diarahkan pada lahan-lahan terlantar dan lahan-lahan marginal. Berdasarkan data yang tercatat di Departemen Kehutanan tahun 2008 diketahui luas lahan kritis di Indonesia mencapai 77 juta hektar (Dephut, 2008).

Yang menjadi permasalahan adalah ketersediaan lahan kritis yang dimaksud meliputi lahan-lahan yang telah dimiliki masyarakat maupun lahan-lahan yang masuk dalam kawasan hutan. Pada lahan-lahan masyarakat, pertimbangan ekonomi menjadi dasar penting dalam mengembangkan komoditas. Namun pada lahan-lahan yang masuk dalam kawasan hutan, pemanfaatannya bukan hanya sekedar melihat aspek ekonomi namun juga menyangkut pemilihan komoditas. Kawasan hutan produksi apalagi hutan lindung walaupun telah gundul karena kerusakan akibat penebangan liar, tidak bisa begitu saja dimanfaatkan kecuali untuk dihutankan kembali. Sehingga pemilihan komoditas menjadi kendala jika komoditasnya bukan merupakan komoditas kebutanan, Oleh karenanya, diversifikasi jenis komoditas penghasil bahan bakar minyak menjadi sangat penting.

Perlu difikirkan adanya upaya untuk menyelaraskan antara program penghutanan kembali (revegetasi) dengan pengembangan tanaman penghasil bahan bakar minyak. Keselaran ini dimaksudkan agar kawasan hutan juga memiliki kontribusi dalam meghasilkan bahan bakar nabati yang akan terus menjadi kepentingan nasional ke depan. Bukan mustahil bahwa kawasan hutan akan menjadi pemasok bahan bakar nabati yang cukup besar pada masa mendatang.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji aspek-aspek ketersediaan lahan dan peluang pemanfaatannya untuk pengembangan tanaman penghasil bahan bakar nabati pada skala industri maupun masyarakat khususnya di wilayah Bali dan Nusa Tenggara Barat (NTB) dan Nusa Tenggara Timur (NTT). Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan dan bahan pertimbangan bagi berbagai pihak yang berkepentingan dalam pengembangan tanaman penghasil minyak nabati di Indonesia pada masa mendatang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode survey di 3 Kabupaten yaitu Kabupaten Karangasem Propinsi Bali, di Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat dan di Kabupaten Flores Timur, Nusa Tenggara Timur. Survey dilakukan dengan melakukan pendataan terhdap kondisi lahan, dominasi vegetasi, keadaan sosial masyarakat dan ketersediaan lahan bagi penanaman tanaman penghasil minyak. Untuk menunjang pelaksanaan penelitian juga dikumpulkan data-data sekunder dari Pemerintah Daerah setempat.

Untuk daerah Karangasem, Bali, survey dilakukan meliputi daerah Bunutan,Tulamben hingga Kubu Tambahan. Pelaksanaan survey di Sumbawa meliputi daerah Lunyuk, Labangka, hingga Tarano yang berbatasan dengan Kabupaten Dompu. Adapun lokasi survey untuk Kabupaten Flores Timur melipui daerah Kawalelo, Watowara, Lewolaga, Tinawahang dan Nobokonga.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi lahan dan klimatologi

Dari ketiga lokasi survey secara umum memiliki kondisi lahan yang sedikit berbeda walaupun keadaan iklimnya hampir sama yaitu jumlah bulan basah hanya rata-rata 4-5 bulan sedangkan sisanya adalah bulan kering. Rata-rata kondisi lahan dan sebaran bulan basah dan kering di beberapa lokasi dari ketiga kabupaten tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Rata-rata kondisi lahan di ketiga Kabupaten yang diamati.

No	Lokasi	Kisaran pH	Tekstur Tanah
1.	Karangasem, Bali	4.5-6.8	Tanah berpasir
2.	Sumbawa, NTB	5.2-7.6	Tanah lempung berpasir
3.	Flores Timur, NTT	4.2-6.5	Tanah lempung berdebu

Tabel 2. Rata-rata kondisi bulan basah da bulan kerig di ketiga Kabupaten yang diamati.

No	Lokasi	Bulan basah	Bulan Kering
1.	Karangasem, Bali	5-6 bulan	6-7 bulan
2.	Sumbawa, NTB	4-6 bulan	6-7 bulan
3.	Flores Timur, NTT	3-5 bulan	7-9 bulan

3.2. Faktor ketersediaan lahan

Diantara ketiga kabupaten yang ada, terdapat perbedaan ketersediaan lahan yang dapat digunakan dalam proyek pengadaan bahan bakar hayati. Untuk Kabupaten Flores Timur dan Karangasem, umumnya lahan-lahan kritis yang ada merupakan lahan yang telah dimiliki oleh masyarakat petani. Bahkan beberapa lahan telah digarap dan ditanami dengan komoditas tanaman pangan seperi singkong dan jagung (di Flores Timur) dan kacang-kacangan (di Karengasem Bali). Ini artinya bahwa produksi bahan bakar hayati harus dilakukan dengan melibatkan petani pemilik lahan. Pertanyaan yang muncul adalah apakah mampu tanaman penghasil bahan bakar nabati menghasilkan keuntungan yang lebih besar daripada tanaman yang biasa diusahakan oleh petani setempat.

Petani di Karangasem misalnya terbiasa mengandalkan hasil produksi jambu mete dan kacang-kacangan yang mampu tumbuh dalam lingkungan yang sangat kering, meskipun hanya dapat dipanen 1 kali dalam setahun. Komoditas tanaman penghasil bahan bakar nabati yang dapat menghasilkan keuntungan melebihi pertanaman petani tersebut adalah merupakan harapan baru yang ditunggu oleh petani. Jika tidak, maka kegagalan program pasti akan terjadi.

Agak berbeda dengan Kabupaten Sumbawa, selain lahan-lahan yang dimiliki petani, ada alokasi lahan dari pemerintah yang mungkin untuk digunakan dalam produksi tanaman penghasil bahan bakar nabati. Lahan tersebut umumnya adalah lahan hutan APL (Area Penggunaan Lain). Contoh jumlah lahan yang mungkin digunakan dalam program penanaman tanaman penghasil minyak nabati dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Contoh penyebaran lokasi untuk produksi bahan bakar nabati di Kabupaten Sumbawa dan Flores Timur

Kabupaten Sumbawa		Kabupaten Flores Timur	
Nama Lokasi	Luasan lahan yang tersedia (Ha)	Nama Lokasi	Luasan Lahan yang tersedia (Ha)
Lunyuk	4000	Kelubagolit	9 157
Labangka	2000	Wulan gintang	30 449
Empang	3000	Titehena	21 170
Tarano	2000	Witihama	7,797
Tolo'oi-Mata (Tarano District Area)	2000	Ile Mandiri	7 424
Ree-Utan-Buer-Alas-Alas Barat	1000	Larantuka	13 328
Lantung	1000	Solor Barat	15 068
Ropang and the ficinity	1500	Solor Timur	7 566
Batu Lanteh	-	Wotan Ulu Mado	7 581

Kabupaten Sumbawa		Kabupaten Flores Timur	
Nama Lokasi	Luasan lahan yang tersedia (Ha)	Nama Lokasi	Luasan Lahan yang tersedia (Ha)
Sumbawa Besar (Batu Api)	40	Adonara Barat	11 396
Lunyuk	4000	Adonara Timur	10 894

Sumber: Dinas Kehutanan Kabupaten Sumbawa dan Flores Timur

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa lokasi yang ada cukup menyebar, dengan satuan luas lahan yang tidak terlalu besar. Jika lahan tersebut digunakan untuk penanaman pada skala industri maka menjadi tidak efisien. Dilema ini terjadi khususnya di Sumbawa, karena lahan yang tersedia adalah lahan kehutanan. Peningkatan luasan lahan mungkin masih bisa dilakukan pada areal yang berdekatan, yang tentunya dengan mengkonversi hutan produksi menjadi pertanaman. Namun hal ini tidak mungkin dilakukan kecuali tanaman penghasil minyak yang akan diusahakan adalah tergolong tanaman hutan. Oleh karenanya untuk kasus ini upaya pencarian jenis tanaman penghasil minyak yang berupa tanaman hutan merupakan hal yang penting yang bisa memberi solusi.

3.3. Diversifikasi Janis tanaman untuk mensupport program produksi bahan bakar nabati

Untuk mendukung program pengadaan bahan bakar nabati yang telah dicanangkan oleh pemerintah perlu upaya yang sinergis antara sumberdaya alam yang bisa kita manfaatkan dengan teknologi yang kita kembangkan. Salah satu faktor yang penting untuk diperhatikan terkait dengan realita ketersediaan lahan kita adalah ketersediaan produk teknologi berupa genotype tanaman unggul yang dapat ditanam sebagai tanaman budi daya pertanian atau sebagai tanaman hutan. Untuk tanaman budidaya, jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) merupakan jenis tumbuhan yang cocok untuk dikembangkan, sedangkan untuk tanaman kehutanan dapat digunakan tanaman nyamplung (*Calopyllum inopyllum* L.)

Jarak pagar adalah salah satu spesies tanaman yang dapat menghasilkan minyak dengan kandungan yang cukup tinggi pada bijinya (Heller 1989). Tanaman ini telah menarik banyak orang di dunia karena dapat menjadi sumber hidrokarbon yang cukup baik, yaitu mengandung 27-48% minyak di dalam bijinya sehingga dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar komersial (Openshaw, 2000; Augustus *et al*., 2002). Bagian dalam biji dari J. curcas bisa menghasilkan 46–58% minyak semi kering (dengan nilai iodium 93–107) dan umumnya berisi asam lemak penting, oleat (37–63%) yang berbeda dengan biji spesies Jatropha lainnya, yang didominasi oleh asam lemak linoleat (Banerji *et al*., 1985). Selain itu

minyak yang dihasilkan dari tanaman jarak pagar bukan tergolong minyak makan (*non-edible oil*), sehingga pemanfaatannya sebagai sumber energi tidak akan mengguncang kebutuhan pangan.

Diantara jenis-jenis tanaman penghasil minyak, jarak pagar lebih disukai karena lebih tahan terhadap cekaman kekeringan, pertumbuhannya cepat, mudah diperbanyak, produksi bijinya murah, kandungan minyaknya cukup tinggi, adaptasinya luas, dapat berproduksi baik pada lahan subur maupun lahan yang kritis, dan ukuran tanamannya tidak terlalu besar sehingga memudahkan pemanenan (Jones and Miller, 1991; Francis, 2005). Selain itu bagi masyarakat Indonesia, tanaman ini cukup dikenal di berbagai daerah di Indonesia mulai dari Sumatra dan Jawa hingga ke Nusatenggara Timur dan Irian (Mifahudin dan Hamim 2008a,b,c).

Walaupun demikian saat ini penanaman jarak pagar pada skala industri yang besar belum banyak dilakukan. Hingga saat ini penanaman Jatropha di dunia masih menghadapi permasalahan karena rendahnya produksi biji sehingga dipandang belum menguntungkan (Sujatha *et al*. 2008). Oleh karenanya, kebutuhan akan genotype yang superior sangatlah mendesak. Genotipe tersebut semestinya diarahkan agar memiliki produksi biji dan kandungan minyak yang tinggi, pematangan yang cepat, bentuk pohon yang tidak terlampau tinggi, resisten terhadap hama dan penyakit, toleran terhadap kekeringan, memiliki rasio bunga betina/jantan yang lebih tinggi dan karakterisik minyak yang lebih baik (Sujatha 2006). Kemampuan produksi yang tinggi dari tanaman ini akan membantu masyarakat khususnya yang hidup pada daerah-daerah dengan lahan marginal.

Berbeda dengan jarak pagar, nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) adalah jenis pohon hutan yang banyak tumbuh di daerah pantai. Biji nyamplung juga mengandung kadar lemak yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar nabati. Komposisi asam lamak pada biji nyamplung dapat berupa asam oleat (38.02%), asam palmitat (20.98%), dan asam linoleat (14.48%) dan cukup baik untuk produksi biodiesel (Augustus and Seiler 2001). Minyak dari nyamplung juga tergolong *non-edible oil*, sehingga tidak bersaing dengan kebutuhan pangan kita (Agarwal 2007)

Nyamplung adalah sejenis pohon yang tumbuh hingga bisa mencapai ketinggian 15 m dengan cabang dan daun yang banyak (Gilman and Watson 1993). Sebagai tumbuhan yang hidup di daerah pantai pohon ini bisa tumbuh baik pada tanah berpasir yang kering dan kritis. Dengan jumlah pohon 400 per hektar, tanaman ini dapat menghasilkan biji hingga 4500 Kg/Ha atau setara dengan 3744 Kg biodiesel/Ha (Azam *et al.* 2005).

Mengingat bahwa masyarakat kita juga cukup mengenal tumbuhan nyamplung dengan baik, maka partisipasi masyarakat akan mudah jika mereka tahu bahwa tumbuhan ini dapat menghasilkan minyak yang bahkan lebih tinggi dari jarak pagar. Minyak yang dihasilkan dari pohon nyamplung dalam 1 hektar hampir dua kali lipat dari produksi minyak jarak pagar yang hanya mencapai 2000 kg biodiesel/Ha (Azam *et al.* 2005). Namun hingga saat ini eksplorasi dan pengembangan tanaman nyamplung sebagai penghasil bahan bakar nabati belum banyak dilakukan.

Untuk itu diperlukan kerjasama berbagai pihak, baik dari kalangan peneliti di Perguruan Tinggi maupun Balai Penelitian, pemerintah pusat maupun daerah, pengusaha dan masyarakat, mengingat bahwa kebutuhan bahan bakar merupakan kebutuhan bangsa ini semua.

4. KESIMPULAN

Upaya pengembangan bahan bakar minyak nabati sering kali harus berhadapan dengan realita ketersediaan lahan di lapangan. Lahan kritis yang ada sering kali berupa areal kehutanan atau areal yang telah diusahakan oleh petani dengan pertanaman keras atau palawija. Oleh karenanya strategi pengembangan tanaman penghasil minyak harus juga diarahkan untuk memenuhi kriteria tersebut, yaitu tanaman perkebunan yang punya potensi produksi tinggi dan kalau memungkinkan juga adalah jenis tanaman kehutanan sehingga dapat ditanam di areal hutan. *Jatropha curcas* L. yang telah dikembangkan saat ini cukup baik untuk terus ditingkatkan produksinya melalui berbagai riset sehingga menguntungkan petani. Selain itu perlu juga dikaji secara mendalam pemanfaatan tanaman nyamplung (*Calophyllum inopyllum* L.) untuk produksi minyak mengingat tanaman ini punya potensi menghasilkan minyak yang tinggi, selain juga adalah merupakan tanaman kehutanan.

DAFTAR PUSTAKA

Agarwal, A.K. 2007. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science 33:233–271

Augustus, GDPS and Seiler, GJ. 2001. Promising oil producing seed species of Western Ghats (Tamil Nadu, India). Industrial Crops and Products 13:93–100

Augustus GDPS, Jayabalan M, Seiler GJ. 2002. Evaluation and bioinduction of energy components of Jatropha curcas. Biomass Bioenergy 23:161–164.

Azam MM, Waris A, Nahar NM. 2005. Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. Biomass and Bioenergy 29:293–302

Banerji R, Chowdhury AR, Misra G, Sudarsanam G, Verma SC, Srivastava GS. 1985. Jatropha seed oils for energy. Biomass. 8:277–82.

Dephut. 2008. Iktisar Lahan Kritis Akhir Pelita VI dan Rehabilitasi Tahun 1999/2000 – 2003. http://www.dephut.go.id/INFORMASI/BUKU2/Eks_04/Tab_III_1.pdf

Francis G, Edinger R, Becker K. 2005. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of Jatropha plantations. Natural Resource Forum. 29:12–24.

Gilman EF and Watson DG. 1993. Calophyllum inophyllum - Beauty Leaf. Environmental Horticulture Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Series.

Heller J. 1989. Physic Nut, Jatropha curcas L. International Plant Genetics Resources Institute (IPGRI). Rome, Italy.

Jones N, Miller JH. 1991. Jatropha curcas - a multipurpose species for problematic sites. Land Resources Series. 1:1–12.

Miftahudin dan Hamim. 2008a. Feasibility study of Jatropha curcas L. plantation project PT Akraya International project in Sumbawa District, West Nusatenggara. Unit for Commercial Cervices and Industry. Department Biology. Bogor Agricultural University.

Miftahudin dan Hamim. 2008b. Field visit of Jatropha platation project in Karangasem and Buleleng Regency, Bali. Unit for Commercial Cervices and Industry. Department Biology. Bogor Agricultural University.

Miftahudin and Hamim. 2008c. Prospect of East Indonesia for Jatropha Plantation: A Case Study in East Flores. Paper presented in International Jatropha Conferences. Surfactant and Bioenergy Research Center. Bogor Agricultural University.

Mittelbach M. 2008. Jatropha Biodiesel: The Solution for Food and Fuel Discussion ? Institute of Chemistry (IFC), Department of Renewable Resources. University of Graz. Austria.

Openshaw K. A review of Jatropha curcas: an oil plant of unfulfilled promise. Biomass Bioenergy 2000;19:1–15.

Sujatha M. Genetic improvement of Jatropha curcas L.: possibilities and prospects. Indian J Agroforestry 2006;8:58–65.

Sujatha M, Reddy TP, Mahasi MJ. 2008. Role of biotechnological interventions in the improvement of castor (Ricinus communis L.) and Jatropha curcas L. Biotechnology Advances. 26:424-435.

Pembuatan Fuel Cell Sebagai Sumber Energi Alternatif Menggunakan BioHidrogen Sebagai Bahan Bakar Baru

Eniya Listiani Dewi[1)] dan Mahyudin Abdul Rachman[2)]

[1)] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Pusat Teknologi Material
MH. Thamrin 8, BPPT II, Lt.22, Jakarta. Email: eniyalist@webmail.bppt.go.id

[2)] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Pusat Teknologi Bioindustri
MH. Thamrin 8, BPPT II, Lt.15, Jakarta. Email: yudinr@yahoo.com

Abstrak

Sumber energi alternatif yang menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar utama telah banyak dikuasai oleh negara maju, sedangkan di Indonesia masih belum banyak dikuasai. Namun seiring dengan kebutuhan energi yang makin bertambah serta seiring dengan ARN, maka penguasaan teknologi untuk memproduksi bahan bakar baru sangat dibutuhkan. Teknologi fuel cell yang menggunakan gas hidrogen sebagai bahan bakar, adalah teknologi yang ramah lingkungan dimana hasilnya hanya listrik, air dan panas. Dalam makalah ini akan dijelaskan pengembangan teknologi fuel cell dengan proses dan bahan yang telah disubstitusi di lokal, misalnya komponen stack fuel cell, separator grafit, serta proses pembuatan membrane electrode assembly (MEA). Pada penelitian ini dipakai proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) berukuran aktif-area 50 cm^2 dengan kandungan katalis Pt/C 1 mg/cm2, dan disusun MEA pada stack fuel cell hingga 4 cell. Untuk test fuel cell dengan hidrogen, dibandingkan pemakaian hidrogen dengan yang didapat dari pengolahan limbah biodisel, cassava dan tetes tebu dengan mikroorganisme. Dalam hal ini hidrogen yang dipakai pada fuel cell jika didapat dari industri gas sangat mahal, namun dengan adanya kajian bio-hidrogen tersebut, biaya produksi gas hidrogen bisa menjadi sangat murah.

Kata kunci : Hidrogen, fuel cell, membrane electrode assembly, limbah biodisel.

1. PENDAHULUAN

Menurunnya cadangan minyak bumi dan meningkatnya kebutuhan sumber energi akan mendorong dilakukan usaha penghematan energi dan pencarian sumber energi baru sebagai alternatif. Setelah sekian lama kebutuhan akan minyak bumi selalu disubsidi pemerintah untuk melakukan pergerakan ekonomi, sekarang dalam kondisi yang serba susah, subsidi tersebut dicabut sehingga makin membebani rakyat Indonesia. Namun dilain pihak kondisi susah inilah yang menggugah para praktisi masyarakat, peneliti dan masyarakat sendiri mulai kreatif untuk memikirkan kebutuhan akan minyak bumi khususnya untuk transportasi dan listrik. Kebutuhan akan listrik yang semakin meningkat dari hari ke hari, telah mendesak Indonesia untuk segera melakukan inovasi teknologi yang berbasis energi alternatif. Ketergantungan pada minyak bumi harus segera ditinggalkan. Pada masa sekarang telah diyakini oleh banyak negara maju sepeti

Amerika, Canada, Jepang dan Eropa, untuk menjadikan khususnya teknologi fuel cell sebagai energi alternatif pada masa perekonomian ”gas hidrogen” tahun 2025, dimana hidrogen akan menjadi basis pergerakan dunia menggantikan minyak bumi, dan bahkan tidak mungkin bahwa akan menjadi lebih cepat lagi dengan desakan kebutuhan masyarakat [1]. Di Indonesia pun telah mencanangkan 5% energi alternatif pada tahun 2010 yang bisa diartikan sebesar 250 Megawatt [2], dimana akan disuplai dari energi angin, solar cell, biomass, natural gas dan fuel cell. Gas hidrogen (H_2) merupakan bahan bakar yang menjanjikan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan karena dapat diperbaharui, efisien, dan juga karena tidak memiliki ikatan dengan karbon sehingga tidak menghasilkan emisi gas buang yang dapat mencemari lingkungan [3].

Gas H_2 selama ini diproduksi dengan proses yang tidak ramah lingkungan seperti gasifikasi atau pirolisa dari biomasa [4], atau perubahan biogas metan dan menggunakan proses yang mahal seperti elektrolisa air. Maka untuk mendapatkan terobosan baru proses produksi gas hidrogen, proses bioteknologi baik itu secara fotosintesis maupun fermentasi adalah pilihan terbaik untuk dapat menghasilkan H_2 dengan tingkat kemurnian yang tinggi (>99 %). Lebih lanjut proses tersebut akan dimanfaatkan melalui teknologi *fuel cell*, maka H_2 dikonversi langsung menjadi energi listrik tanpa hasil samping yang berbahaya.

Produksi bio-H_2 biasanya melibatkan mikroba atau enzim. Sejumlah spesies jasad renik dari berbagai taksa dan tipe fisiologi mampu menghasilkan bio-H_2. Ini era paling menarik dalam pengembangan teknologi karena memungkinkan dihasilkan dari bahan-bahan organik yang dapat diperbaharui. seperti: limbah bioindustri (limbah biodiesel), limbah pertanian maupun hasil pertanian (onggok, tetes, nira) [5]. Sistem proses biologi menyediakan berbagai pendekatan, antara lain:

1. Biophotolisis langsung: $2H_2O \rightarrow {}^{\text{energi cahaya}} \rightarrow 2H_2 + O_2$
2. Biophotolisis tak-langsung: $C_6H_{12}O_6 + 12\ H_2O \rightarrow {}^{\text{energi cahaya}} \rightarrow 12\ H_2 + 6\ CO_2$
3. Foto-fermentasi: $C_6H_{12}O_6 + 12\ H_2O \rightarrow {}^{\text{energi cahaya}} \rightarrow 12\ H_2 + 6\ CO_2$
4. Fermentasi gelap: $C_6H_{12}O_6 + 2\ H_2O \rightarrow 2\ CH_3COOH + 4\ H_2 + 2\ CO_2$

Dalam makalah ini akan dijelaskan proses produksi bio-hidrogen menggunakan pendekatan proses fermentasi tanpa cahaya, serta penjelasan mengenai stack fuel cell dan kondisi hasil konversi energi.

2. METODOLOGI

2.1. Material

Mikroba *Enterobacter aerogenes* digunakan untuk mengubah gliserol mejadi hidrogen dan 1.3-propanediol. Media fermentasi untuk menumbuhkan mikroba tersebut dibuat dalam fermentor tersendiri. Dimana fermentor ini mengandung media *Enterobacter aerogenes*, trypton dan ekstrak yeast. Media ini dinetralkan dengan 0.1 N NaOH hingga 6.8. Oksigen dalam media diturunkan dengan menambahkan gas nitrogen, kemudian disterilisasi pada 121ºC selama 15 menit. Pada media ini ditambahkan glicerol dan buffer, dan diinkubasi pada suhu 37 ºC dengan rotasi 50-75 rpm.

2.2. Sistem produksi hidrogen

Dari fermentor dihasilkan gas hidrogen yang bercampur CO_2, dan H_2O sehingga perlu tambahan instalasi untuk menghilangkan CO_2 dengan mereaksikan pada $Ca(OH)_2$ sehingga bereaksi menjadi gas H_2 ($CO_{2(g)} + Ca(OH)_{2(l)} \rightarrow CaCO_3 + H_{2(g)}$). Kemudian disambungkan pada penyerap air berupa silika gel untuk menurunkan kadar air sebelum dimasukkan pada stack fuel cell.

2.3. Aplikasi untuk Fuel Cell

Fuel cell yang digunakan adalah proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) standar 7 cell dari Electrochem Co. Membrane electrode assembly (MEA) adalah 4 buah. Keterangan detail adalah sebagai berikut: Luas aktif area elektroda 50 cm^2, dengan kandungan katalis 40 wt% Pt/C 1 mg/cm^2, menggunakan Nafion 115. Penggunaan 4 cell adalah menyesuaikan kemampuan hasil bio-hidrogen dari reaktor 2 L. Setelah pengoperasian fuel cell, MEA dapat dipakai kembali setelah terlebih dahulu dicuci dan dikeringkan pada suhu 40-50℃ selama 2 jam.

3. HASIL DAN DISKUSI

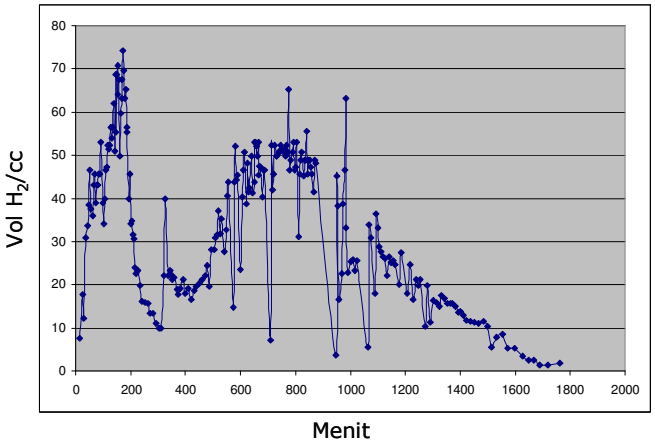
3.1. Proses produksi Bio-hidrogen

Gas H_2 ini dapat dihasilkan oleh beberapa bakteri misalnya *Enterobacter aerogenes, Clostridium butyricum*, *Bacillus pumilus*, dll. Pada penelitian ini telah digunakan *Enterobacter aerogenes (E. aerogenes*), bakteri tersebut dapat menghasilkan H_2 melalui fermentasi gelap yang tidak tergantung akan adanya cahaya matahari. *E. aerogenes* juga dapat menghasilkan H_2 lebih cepat dari mikroorganisme fotosintetik dan dapat bertahan hidup pada konsentrasi H_2 yang tinggi. *E. aerogenes* yang diisolasi langsung dari limbah biodiesel mampu memanfaatkan berbagai macam substrat, baik itu substrat murni dan sederhana seperti glukosa gliserol, dll maupun senyawa yang lebih kompleks dari limbah misalnya molases, pati singkong, nira aren, shorgum dan limbah biodiesel.

Bakteri yang digunakan pada fermentasi adalah *Enterobacter Aerogenes* ADH-43. Dalam skema metabolisme, proses pengolahan limbah biodisel adalah untuk

menghasilkan 1,3-propanediol, namun proses fermentasi gliserol dengan menggunakan *Enterobacter Aerogenes* ADH-43 terdapat H_2 dan CO_2. Pada laporan terdahulu diketahui bahwa produksi gas H_2 akan sangat tinggi jika menggunakan media gliserol atau gula singkong [5].

Dari hasil operasional fermentor, didapat kumpulan gas H_2 sebanyak 670 mL, seperti pada Gambar 1. Dimana produksi gas terbanyak membutuhkan waktu antara 2 dan 4 jam.

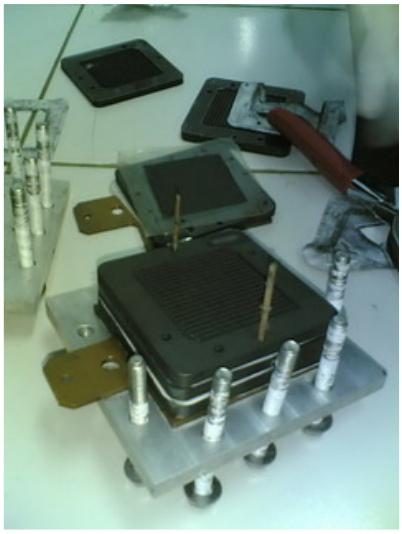


Gambar 1. Hasil produksi H_2 dengan konsentrasi gliserol 1,5 %.

3.2. Analisa Fuel Cell menggunakan Bio-Hidrogen

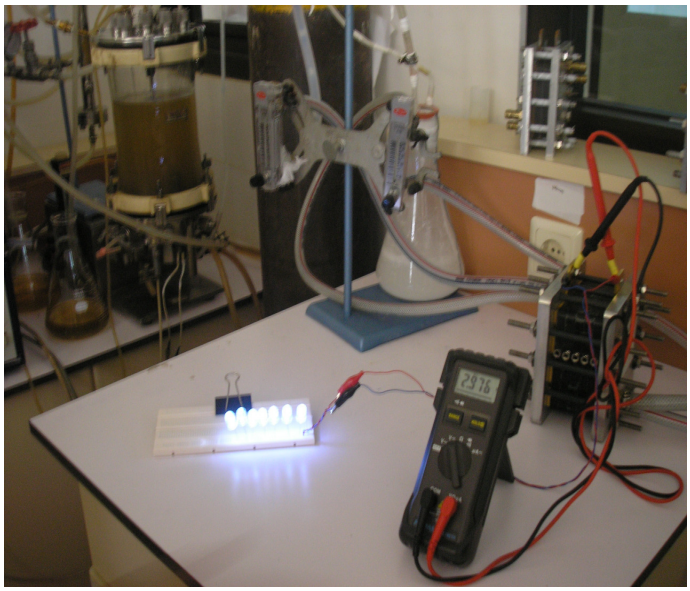
Pada skala laboratorium, sistem aplikasi fuel cell dicoba untuk menangkap H_2 dan mengubahnya menjadi listrik. Dari fermentor, 1,3-propandiol ditampung pada tempat tersendiri, dan dari bagian atas fermentor, gas yang keluar dialirkan pada akumulator dan dilewatkan larutan $Ca(OH)_2$ untuk menurunkan kadar CO_2.

Penyusunan stack fuel cell dilakukan dengan urutan komponen sebagai berikut: end-plate, gasket, current collector, grafit bipolar plate, gasket, MEA_1, gasket, grafit bipolar plate, gasket, MEA_2, gasket, grafit bipolar plate, MEA_3, gasket, MEA_4, gasket, grafit bipolar plate, current collector, gasket, end-plate. Susunan komponen tersebut seperti pada Gambar 2, dieratkan dan kemudian diadakan tes kebocoran sebelum diujicobakan pada sistem fuel cell.

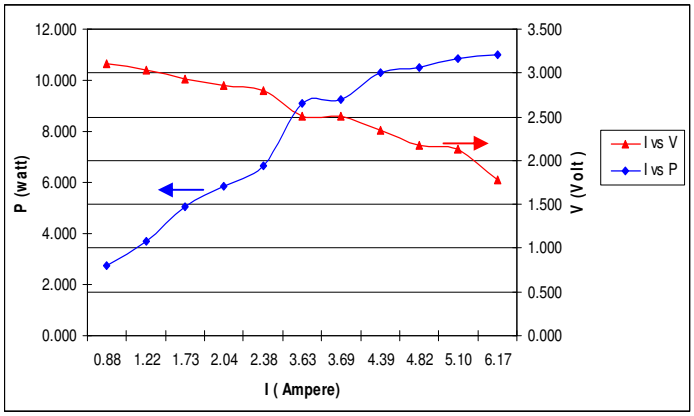


Gambar 2. Penyusunan stack PEM fuel cell.

Pada Gambar 3, terlihat uji coba menggunakan PEM fuel cell dengan modul 4 cell stack. Voltase yang dihasilkan pada waktu 5 jam akumulasi gas adalah 2.98 V, dan mampu menghidupkan 7 buah LED. Kondisi ini mampu bertahan hingga lebih dari 10 jam dengan pada tiap 4 jam ditambahkan gliserol kembali dalam jumlah yang sama. Hasil polarisasi stack fuel cell dirangkum dalam grafik yang tertera pada Gambar 4.

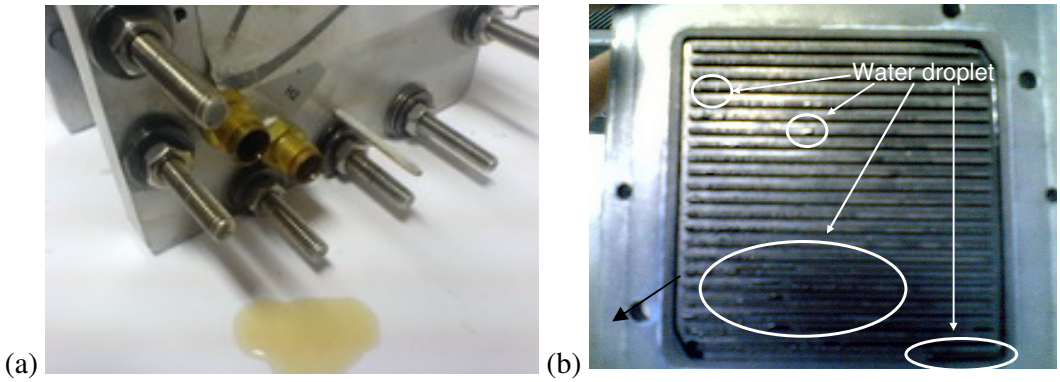


Gambar 3. Proses produksi H_2 dengan konsentrasi gliserol 1,5 % dari limbah biodiesel dan aplikasinya pada stack PEM fuel cell.



Gambar 4. Grafik polarisasi 4 cell stack PEM fuel cell.

Setelah dilakukan ujicoba selama kurang lebih 10 jam, stack fuel cell dilihat kondisi pada inlet gas. Terlihat pada Gambar 5(a) terdapat cairan yang keluar dari inlet H_2, sehingga mengakibatkan potensial cell menjadi rendah dan akhirnya drop dan tidak terlihat lagi hasil listrik. Serta pada Gambar 5(b) pada permukaan grafit, terutama pada flow-field aliran gas terdapat droplet air yang membuktikan bahwa masih banyak air terkandung pada gas H_2 hasil fermentasi. Dilihat dari hasil polarisasi, pada jam-jam tertentu dimana produksi H_2 tidak tinggi, maka fuel cell tidak menghasilkan listrik. Dan setelah 16 jam, walaupun terjadi produksi H_2 tinggi karena adanya penambahan gliserol kembali, fuel cell tidak menunjukkan performa yang baik. Hal ini disebabkan karena kandungan air bersama H_2 yang melebihi kebutuhan operasional fuel cell sendiri. Sehingga menyebabkan tergenangnya air pada sisi anoda. Air yang dimungkinkan masih mengandung 1,3-propandiol ini membuat reaksi tidak optimal.



Gambar 5. Kondisi setelah operasional fuel cell pada inlet hidrogen, (a) tanda panah menunjukkan cairan yang keluar dari inlet, (b) droplet air pada permukaan ruang aliran gas pada separator.

Untuk meningkatkan performa fuel cell ini, diperlukan perhitungan kebutuhan kelembaban pada fuel cell yang optimal. Pada kelanjutan penelitian ini akan dilakukan penyempurnan sistem tersebut antara lain:

1. Karena produksi H_2 tidak kontinyu, maka pada fermentor harus diubah dengan menggunakan instalasi untuk mensuplai gliserol secara berkesinambungan.
2. Karena kandungan air cukup banyak, maka harus ditambahkan satu instalasi untuk menyerap air dan mengontrol % kelembaban.
3. Perlu ditambahkan pula instalasi untuk menyaring gas atau ultrafiltrasi agar hasil akhir propandiol atau yang lainnya tidak terbawa ke dalam aliran gas yang masuk pada fuel cell.

4. KESIMPULAN

Ditinjau dari segi ekonomi, harga fuel cell masih tergolong mahal pada saat ini. Jika perhitungan listrik PLN adalah Rp. 700,-/kW maka operasional fuel cell adalah Rp. 15000,-/kW. Diketahui angka tersebut disebabkan oleh harga stack fuel cell sendiri serta untuk biaya operasionalnya tergantung dari harga hidrogen yang digunakan sebagai bahan bakar. Sehingga selain teknologi bahan dan manufaktur komponen fuel cell harus dikuasai untuk menurunkan cost, tidak ketinggalan pula adalah penggunaan teknologi bio-hidrogen yang didapat dari limbah biodisel, limbah ubi kayu, nira, sorghum dan lainnya, sehingga dapat bersaing dengan energi listrik lainnya. Namun dengan adanya terobosan teknologi alternatif ini biaya produksi hidrogen mampu ditekan dengan signifikan tergantung pada harga gliserol.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Stephen Millett, Kathya Mahadevan, “Commercialization scenarios of polymer electrolyte membrane fuel cell applications for stationary power generation in United States by the year 2015”, J. Power Sources, 150, 2005, 187-191.

[2] http://www.ristek.go.id/arn

[3] J.M. Ogden, M.M. Steinbugler, T.G. Kreutz, A comparison of hydrogen, methanol and gasoline as fuels for fuel cell vehicles: implications for vehicle design and infrastructure development, J. Power Sources 79 (2) (1999) 143–168.

[4] Carlo N. Hamelinck, Andre´ P.C. Faaij, Future prospects for production of methanol and hydrogen from biomass, Journal of Power Sources 111 (2002) 1–22.

[5] Prasetyo, Joni and Mahyudin AR, ‘Enhancement Hydrogen (H2) and 1,3 Propanediol from The Waste of Biodiesel by Enterobacter aerogenes AD-H43 in Batch Stirred Tank Reactor (BSTR)’, Proseeding Seminar Nasional Teknik Kimia-UnPar, Bandung, April 2008.

OPTIMASI EFISIENSI TUNGKU SEKAM DENGAN VARIASI LUBANG UTAMA PADA BADAN KOMPOR

M. Rifki, Irzaman, H. Alatas

Bagian Fisika Terapan, Departemen Fisika, FMIPA IPB,
Kampus IPB Dramaga, Gedung Wing S no.3 Tel./Fax : +62-251-8625728

Abstrak

Sekam padi merupakan limbah penggilingan padi yang meliputi kariopsis, terdiri dari dua belahan (lemma dan palea) yang saling bertautan. Limbah sekam bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk memasak dengan menggunakan bantuan tungku pembakaran yang disebut tungku sekam. Tungku sekam digunakan dalam proses pembakaran sekam dengan bantuan aliran udara pada tungku tersebut. Efisiensi tungku sekam sangat mempengaruhi banyaknya sekam yang dibutuhkan dalam proses pemasakan. Aliran udara pada tungku sekam mempengaruhi besar kecilnya efisiensi tungku sekam yang dibuat. Efisiensi maksimum dari tungku sekam dapat diketahui dengan melakukan variasi lubang utama badan kompor, sehingga diperoleh ukuran lubang utama pada badan kompor yang menghasilkan efisiensi maksimum. Dalam penelitian ini diperoleh laju konsumsi bahan bakar (FCR) sebesar 1,802 kg/jam, sedangkan energi panas yang dibutuhkan (Qn) untuk mendidihkan air sebanyak 6 liter adalah 976 Kcal/jam sehingga diperoleh efisiensi tungku sekam sebesar 18%.

Kata kunci : Sekam, Tungku Sekam, Aliran Udara, Efisiensi, Lubang, Badan Kompor

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar masyarakat saat ini menggunakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui untuk keperluan industri, transportasi, dan keperluan rumah tangga. Padahal ketersedian bahan bakar tersebut makin lama makin menipis sehingga nilai ekonomisnya semakin tinggi dan sulit terjangkau. Jika kita bandingkan ketiga sektor pengguna bahan bakar tersebut sektor rumah tangga merasakan dampak langsung kelangkaan dan kenaikan harga bahan bakar.

Sebagian besar masyarakat Indonesia menggunakan minyak tanah sebagai bahan bakar untuk keperluan rumah tangga. Akan tetapi minyak tanah saat ini sangat langka dan memiliki harga cukup mahal. Untuk mengurangi beban masyarakat khususnya di pedesaan yang masih sangat tergantung dengan minyak tanah dibutuhkan energi alternatif yang bisa diperbaharui, murah dan mudah didapatkan di sekitar mereka. Contohnya serbuk gergaji, sekam padi, kayu bakar dan lain-lain.

Dari ketiga contoh bahan bakar alternatif tersebut sekam padi memiliki potensi yang sangat besar untuk menjadi bahan bakar alternatif di masyarakat pedesaan. Hal tersebut dikarenakan industri pengilingan padi yang ada di daerah pedesaan Indonesia mampu mengolah lebih dari 40 juta ton gabah menjadi beras giling dengan rendemen 66 – 80 persen. Bila kondisi ini berjalan sesuai dengan kapasitasnya, terdapat sekam yang berpotensi sebesar 8 juta ton. Selain itu menurut Angka Ramalan (Aram II) tahun 2004, BPS memperkirakan jumlah produksi gabah kering giling (GKG) sebanyak 53,7 juta ton atau setara dengan 33,92 juta ton beras dan sekitar 10,7 juta ton sekam (Akhirudin, 2006).

Dalam pemanfaatan sekam tersebut dibutuhkan alat yang diberi nama Tungku Sekam untuk rumah tangga yang berawal dari desain dan prototipe Kompor Sekam Segar Karawang (Komsekar) hasil penelitian Instalasi Penelitian Karawang yang mulai dikembangkan pada tahun 1990 (Rachmat et.al, 1991) dengan nama Tungku Sekam untuk rumah tangga. Seiring dengan makin berkurangnya persediaan minyak bumi maka peminat bahan bakar alternatif semakin meningkat sehingga saat ini muncul berbagai macam desain konstruksi tungku sekam

Permasalahan utama yang ada pada penggunaan tungku sekam saat ini adalah lamanya waktu pemasakan sehingga pengguna harus menunggu lama untuk mendapatkan hasil masakan. Hal tersebut menjadikan tungku sekam kurang diminati. Lamanya waktu pemasakan dikarenakan tidak berpusatnya api yang dihasilkan, kurang stabilnya perapian yang dihasilkan dan banyaknya kalor yang terserap oleh material konstruksi tungku sekam.

Penelitian ini mencoba memecahkan permasalahan yang ada dengan merancang suatu tungku sekam yang memiliki api berpusat dan memiliki selongsong yang terbuat dari bahan yang konduktivitasnya rendah. Indikator keberhasilan pengoperasian adalah semakin sempitnya lama pemasakan. Hal tersebut dilakukan dengan membandingkan beberapa desain konstruksi bahan selongsong tungku sekam. Diharapkan diperoleh model tungku sekam dan bahan yang tepat untuk menghasilkan lama pemasakan yang singkat.

Lamanya waktu pemasakan dengan menggunakan tungku sekam menjadi kekurangan yang cukup berpengaruh terhadap ketertarikan masyarakat terhadap tungku sekam tersebut. Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan tungku sekam biasanya adalah barang-barang bekas ataupun seng yang mudah didapat di lingkungan sekitar. Bahan seng lebih mudah menyerap panas sehingga sekam yang belum waktunya terbakar sudah terbakar terlebih dahulu karena menyentuh seng yang sangat panas.

Oleh karena itu, jenis bahan tersebut sebenarnya kurang cocok digunakan sebagai bahan pembuatan tungku sekam khususnya untuk bagian selongsong tungku.

Dalam pembuatan tungku sekam mensyaratkan material yang memiliki daya serap panas yang rendah sehingga panas yang dihasilkan sebagian besar digunakan untuk proses pemasakan. Api yang dihasilkan juga harus berpusat atau terarah sehingga pembakaran yang tidak perlu seperti terbakarnya sekam pada tempat penampungan tidak terjadi. Hal itu juga tergantung material dan desain tungku sekam yang digunakan. Oleh karena itu, konstruksi tungku sekam perlu dimodifikasi agar seluruh panas yang dihasilkan mampu digunakan secara optimal dalam proses pemasakan sehingga diperoleh waktu yang singkat untuk pemasakan.

Selain material yang digunakan kita juga harus memperhatikan desain tungku yang mampu menciptakan aliran udara yang baik ke perapian sehingga asupan udara akan mengakibatkan pembakaran bias berlangsug secara optimal. Untuk itu akan di teliti model bahan yang cocok sebagai pelindung atau isolator serta desain badan kompor yang menghasilkan efisiensi tungku sekam yang optimal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sekam padi

Sekam padi adalah lapisan padi yang meliputi kariopsis, terdiri dari dua belahan (disebut lemma dan palea) yang saling bertautan. Sekam yang dihasilkan oleh penggilingan padi tipe Enggelberg berbentuk hancuran sekam bercampur bekatul, sedangkan sekam dihasilkan dari mesin pengupas tipe rol karet. Presentase sekam dari gabah bervariasi , bergantung pada varietas, berkisar antara 16,3-26% (Darmardjati,1988: BPS 1996). Pada saat ini, potensi ketersediaan limbah sekam dari 60.000 unit penggilingan padi yang ada di Indonesia adalah sekitar 1.150 metrikton sekam per bulan.

Tabel 1. Komposisi kimia Menurut DTC-ITB

No.	Komponen	Kandungan (%)
1.	Kadar air	9,02
2.	Protein Kasar	3,03
3.	Lemak	1,18
4.	Serat Kasar	35,68
5.	Abu	17,71
6.	Karbihidrat Kasar	33,71
7.	Karbon (zat arang)	1,33
8.	Hidrogen	1,54
9.	Oksigen	33,64
10.	Silika (SiO_2)/semikonduktor	16,98

Panas pembakaran sekam dapat mencapai 3300 Kkal (Van Ruiten, 1981) dan bulk density 0,100 g/ml serta konduktivitas panas 0,068 Kkal (houston, 1972).

Dari aspek ekonomi perbandingan harga tahun 2006 (2500) menunjukkan bahwa harga elpiji Rp. 5.000 per kg, minyak tanah per liter Rp. 3.400, sedangkan batu bara Rp. 2.000/ kg. Apalagi dengan semakin meningkatnya harga minyak dunia mengakibatkan harga BBM semakin meningkat sehingga harga sekam relatif tidak mengalami peningkatan yang berarti.

Sekam yang melimpah relatif tidak memiliki nilai jual/ekonomi. Kalaupun dihargai untuk pembuatan bata merah adalah sekitar Rp.0 – Rp.300 per kg, sehingga penggunaan sekam sebagai sumber energi panas selain memberi nilai ekonomis, juga membantu menekan gangguan lingkungan terutama di sekitar penggilingan padi.

Tabel 2. Perbandingan biaya biaya mendidihkan 6 Liter air dengan berbagai bahan bakar (Irzaman dkk, 2007)

Perbandingan Biaya Mendidihkan 6 Liter Air dengan Berbagai Bahan Bakar (Irzaman dkk, 2007)

Bahan bakar	Waktu (menit)	Massa Bahan	Harga bahan bakar (Rp)	Biaya (Rp)	Literatur
Gas elpiji	11	0,1 kg	5.000,-/kg	500,-	Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2006
Minyak tanah	25	140 ml	7.500,-/liter	1050,-	Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2006
Sekam padi pada tahun 2006	35	1 kg	400,-/20 kg	20,-	Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2006
Sekam padi pada 2007	23	1 kg	2000,-/7 kg	285,-	Irzaman *dkk*, Hasil Penelitian Departemen Fisika FMIPA IPB, 2007

2.2. Tungku sekam

Jika dibakar tanpa dibantu, sekam padi membara pelan-pelan sambil menghasilkan asap tebal yang terasa pedih di mata. Oleh karena itu dibutuhkan tungku untuk mengurangi dampak tersebut. Tungku adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk memanaskan bahan serta mengubah bentuknya atau merubah sifat-sifatnya (perlakuan panas), karena bahan bakar yang digunakan berupa sekam maka tungku untuk pembakaran sekam disebut tungku sekam. Di beberapa negara yang berbasis pertanian seperti Indonesia, Thailand dan Filipina, telah digunakan tungku-tungku sekam sederhana yang mengatasi sifat-sifat yang kurang menguntungkan tersebut. Untuk dapat

menghasilkan nyala yang bersih dan panas, tungku-tungku sekam tersebut harus dibuat sedemikian rupa sehingga tercipta suatu aliran udara secara alamiah, yang meningkatkan jumlah aliran zat asam melewati bahan bakar yang menyala. Teknik-teknik yang digunakan untuk membakar sekam padi atau serbuk gergaji sebagaimbahan bakar dapat dibagi dalam tiga golongan:

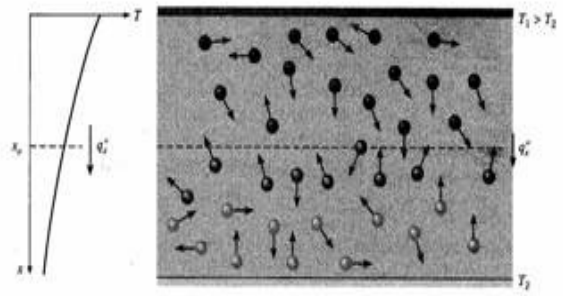
A. Tungku-tungku yang mempergunakan bahan bakar yang dipadatkan dengan suatu saluran udara yang dibentuk dalam massa bahan bakarya agar nyala api dapat melaluinya. Agar dapat menyala dengan baik tungku-tungku jenis ini memerlukan sejumlah kecil tambahan bahan bakar yang lain.
B. Tungku-tungku yang di dalamnya tercipta aliran udara secara alamiah. Tungku-tungku ini mempergunakan sebuah pintu atau kotak pemasukan bahan bakar, sebuah garangan atau rangka bakar, serta sebuah cerobong.
C. Membarakannya.

2.3. Perpindahan Panas

Sistem perpindahan panas dibagi menjadi 3 jenis, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Secara umum, ketiga jenis tersebut dibedakan berdasarkan media dalam upaya memindahkan energi panas. Konduksi menggunakan media padat, konveksi menggunakan media fluida, sedangkan radiasi menggunakan media gelombang elektromagnetik.

2.3.1. Hantaran (Konduksi)

Yang dimaksud dengan hantaran ialah pengangkutan kalor melalui satu jenis zat. Sehingga perpindahan kalor secara hantaran/konduksi merupakan satu proses pendalaman karena proses perpindahan kalor ini hanya terjadi di dalam bahan. Arah aliran energi kalor, adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah.



Gambar 1. Perpindahan panas konduksi dan difusi energi akibat aktivitas molekul

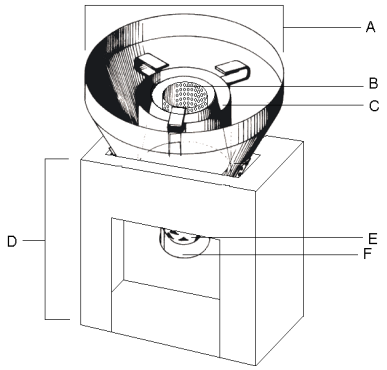
Proses perpindahan panas secara konduksi bila dilihat secara atomik merupakan pertukaran energi kinetik antar molekul (atom), dimana partikel yang energinya rendah dapat meningkat dengan menumbuk partikel dengan energi yang lebih tinggi. Untuk perpindahan panas secara konduksi, setiap material mempunyai nilai konduktivitas panas (*k*) yang mempengaruhi besar perpindahan panas yang dilakukan pada suatu material.

2.3.2. Aliran (Konveksi)

Yang dimaksud dengan aliran ialah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Jadi dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Lazimnya, keadaan keseimbangan termodinamik di dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dari suhu sekelilingnya. Dalam hal ini dikatakan suhu permukaan adalah T1 dan suhu udara sekeliling adalah T2 dengan Tl>T2. Kini terdapat keadaan suhu tidak seimbang diantara bahan dengan sekelilingnya. Perpindahan kalor dengan jalan aliran dalam industri kimia merupakan cara pengangkutan kalor yang paling banyak dipakai. Oleh karena konveksi hanya dapat terjadi melalui zat yang mengalir, maka bentuk pengangkutan kalor ini hanya terdapat pada zat cair dan gas.

3. BAHAN DAN METODE

3.1. Pembuatan tungku sekam



Gambar 2. Desain tungku sekam

Keterangan :

(A) Reservoir sekam dalam bentuk kerucut terbalik
(B) Silinder untuk membakar sekam

(C) Isolator kompor
(D) Badan kompor
(E) ventilator
(F) Reservoir abu sementara

Dalam pembuatan tungku sekam ini dibuat beberapa model yang berbeda yaitu **jenis A (lubang inti sebesar 20 x 22,5 cm), jenis B (lubang inti sebesar 20 x 12 cm), jenis C (lubang inti sebesar 20 x 9 cm).** Dengan setiap masing ukuran dibuat tiga buah perlakuan yaitu satu buah lubang inti yang berada pada tepat sejajar dengan bagian E dan F, dua buah lubang inti dengan ukuran yang sama yang saling berhadapan, serta satu buah lubang inti dengan tambahan lubang-lubang kecil yang tersebar di hadapan lubang inti.

3.2. Pengukuran lama pendidihan air dengan berbagai model tungku sekam

Pengukuran lama pemasakan dilakukan dengan menggunakan air sebanyak 6 liter serta menghitung banyaknya sekam yang dibutuhkan untuk mendidihkan air tersebut, sehingga mendapatkan laju bahan bakar yang dibutuhkan pada setiap jenis tungku sekam. Pada tahap ini juga dilakukan pengukuran suhu bagian-bagian tungku sekam.

3.3. Penghitungan efisiensi tungku sekam

Dalam penghitungan efisiensi tungku sekam kita harus mengetahui jumlah energi yang dibutuhkan untuk memasak dengan menggunakan rumus, (Belonio,1985)

$$Q_n = \frac{M_f \times E_s}{T} \qquad (1)$$

Qn - energy yang dibutuhkan (Kcal/hr)
Mf - massa makanan (kg)
Es - energy spesifik, Kcal/kg
T - waktu pemasakan, (hr)

Pemasukan energi mengacu pada jumlah energi yang diperlukan, dalam istilah bahan bakar, energi yang harus dimasukan ke dalam kompor. Hal ini dapat dihitung menggunakan rumus berikut, (Belonio,1985)

$$FCR = \frac{Qn}{HVF \times \xi g} \qquad (2)$$

Dimana

FCR - bahan bakar yang dibutuhkan, kg/hr
Qn - energy yang dibutuhkan (Kcal/hr) HVf - energi yang terkandung dalam bahan bakar, Kcal/kg
ξg - efisiensi tungku (%)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Efisiensi tungku

Pembakaran merupakan suatu proses kimia yang terjadi karena kombinasi yang sangat cepat antara oksigen dan elemen atau campuran kimia yang menghasilkan pelepasan panas. (Osmen Gultom, 2000).

Dalam pembakaran bahan bakar atau limbah dimana komponen utama terdiri dari karbon dan hidrogen pelepasan panas yang terjadi ditunjukkan oleh reaksi berikut:

C + 02 ~ CO2 + energy

2H2 + O2 ~ 2H2O + energy

Gambar 3. Reaksi pembakaran karbon dan hidrogen

Dari reaksi di atas terlihat bahwa produk utama dari pembakaran bahan bakar organik adalah CO_2, H_2O dan energi (panas). Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, nyala api tungku sekam sangat bergantung dengan banyaknya udara yang terperangkap pada badan tungku yang terbuat dari kaleng bekas. Udara masuk melalui lubang inti badan tungku yang dibuat dengan berbagai model dan ukuran. Hal tersebut dilakukan agar diperoleh tungku sekam yang memiliki efisiensi tinggi.

Nilai efisiensi tungku sekam dari 3 jenis dengan 3 perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4. Pada jenis A (lubang inti sebesar 20 x 22,5 cm) yang memiliki efisiensi paling baik adalah dengan perlakuan diberi satu lubang inti saja. Pada jenis ini membutuhkan waktu rata-rata selama 33 menit serta memiliki laju konsumsi bahan bakar (FCR) sebesar 1,6kg/jam, sedangkan energi panas yang dibutuhkan (Qn) untuk mendidihkan air sebanyak 6 liter adalah 764 Kcal /jam sehingga diperoleh efisiensi tungku sekam sebesar 16%. Pada jenis B (lubang inti sebesar 20 x 12 cm) efisiensi paling baik dihasilkan dengan perlakuan diberi satu lubang inti saja. Dengan waktu pemasakan rata-rata selama 33 menit serta memiliki laju konsumsi bahan bakar (FCR) sebesar 1,42kg/jam, sedangkan energi panas yang dibutuhkan (Qn) untuk mendidihkan air sebanyak 6 liter adalah 764 Kcal /jam sehingga diperoleh efisiensi tungku sekam sebesar 17,9%. Untuk tungku sekam jenis C (lubang inti sebesar 20 x 9 cm) memiliki hasil yang sama dengan jenis lainnya yaitu pada perlakuan satu lubang inti diperoleh efisiensi yang paling baik dibandingkan perlakuan lainnya. Tungku sekam dengan jenis C membutuhkan waktu rata-rata selama 26 menit serta memiliki laju konsumsi bahan bakar (FCR) sebesar 1,802 kg/jam, sedangkan energi panas yang dibutuhkan (Qn) untuk mendidihkan air sebanyak 6 liter adalah 976 Kcal /jam sehingga diperoleh efisiensi tungku sekam sebesar 18%.

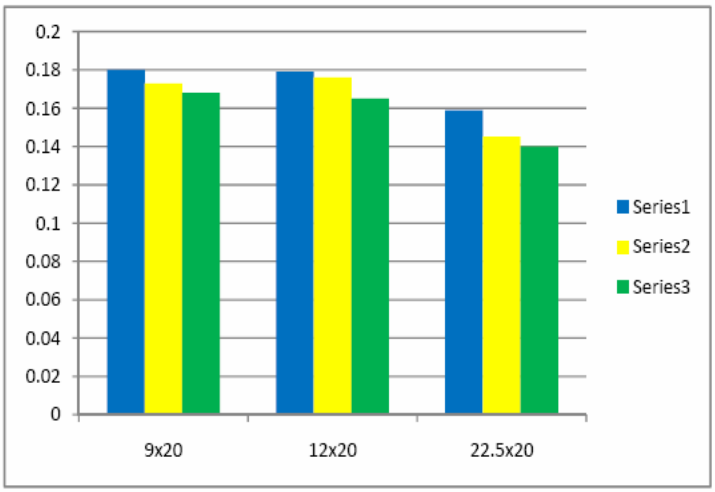
Tabel 3. Data tungku sekam menggunakan material tanah liat dengan satu lubang utama

Massa air	Suhu awal	Suhu akhir	waktu	Massa sekam	Massa arang sekam	Suhu kerucut terbalik	Suhu badan tungku	Suhu isolator	Suhu panci
6 liter	30°C	100°C	25 menit	1000 gram	150gram	48^0c	106^0c	303^0c	89^0c
6 liter	30°C	100°C	23 menit	950 gram	200gram	53^0c	153^0c	447^0c	106^0c
6 liter	30°C	100°C	29 menit	1050 gram	400gram	40^0c	105^0c	275^0c	105^0c

M_f = 6 Kg E_s = 70 Kcal/Kg T = 25 menit = 0,42hr HVf = 3000Kcal/Kg

Dari hasil tersebut terlihat bahwa nyala api yang efektif dipengaruhi oleh aliran udara pada tungku sekam yang bersumber dari udara yang terperangkap pada badan kompor. Jika ada tambahan lubang lain selain lubang utama maka kemungkinan udara keluar dari lubang tersebut sehingga udara yang terperangkap tidak dapat mengalir secara optimal ke ventilator. Hal tersebut berpengaruh pada nyala api yang dihasilkan yang sangat membutuhkan O_2 untuk pembakaran.

Model jenis C memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan model yang lainnya, terjadi karena pada model C ukuran masukan udara tidak terlalu besar sehingga udara yang sudah masuk akan lebih sulit keluar dari badan kompor. Akan tetapi jika ukuran lubang inti terlalu kecil kemungkinan tungku sekam tidak bisa menyala karena kekurangan masukan udara dari luar.



Gambar 4. Grafik efisiensi tungku dengan HVF sebesar 3000 kkal/kg

4.2. Konversi sekam terhadap bahan bakar lain

Dengan menggunakan tungku sekam ini untuk mendidihkan air sebanyak 6 liter rata-rata menghabiskan 1200 gram sekam atau setara dengan 0,36 kg minyak tanah/ 0,415 liter.

Tabel 3. Konversi Energi dari Sekam Padi ke Bahan Bakar Lain (Belonio, 1985).

Ekuivalen Bahan Bakar	Nilai Pemanasan (Kcal/kg)	Perbandingan Konversi*) Kg Bahan Bakar/ kg Sekam yang berasal dari beras	Jumlah Sekam Padi per Ton
LPG	11.767	3,57	25,46 Tangki**)
Kayu	3.355	1,02	980,38 kg
Arang Kayu	5.893	1,78	561,79 kg
Minyak Tanah	11.000	3,33	346,05 Liter
Bensin	11.528	3,49	385,49 Liter
Diesel	10.917	3,308	357,82 Liter

*) Konversi langsung menggunakan nilai pemanasan dari 3.300 Kcal per kg
**) 1 tangki = 140 kg

Jika dengan harga minyak tanah non subsidi saat ini Rp7000/ liter maka jika kita menggunakan kompor sekam ini membutuhkan Rp2900 untuk mendidihkan air 6 liter. Akan tetapi jika kita menggunakan sekam yang saat ini dijual dengan harga Rp500/kg maka hanya membutuhkan Rp 600. Oleh karena itu dari aspek ekonomi penggunaan sekam cukup membantu masyarakat khususnya di daerah pedesaan yang berbasis persawahan. Selain itu jika para petani yang datang untuk menggiling gabahnya di penggilingan dan meminta sekamnya kembali maka para petani tersebut mendapatkan sekam secara gratis sehingga para petani tersebut tidak perlu mencari minyak tanah atau bahkan mengantri berjam-jam.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Tungku sekam membutuhkan aliran udara yang maksimum untuk melakukan proses pembakaran. Oleh karena itu udara yang terperangkap harus dibuat sebanyak mungkin. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh bahwa ukuran yang menghasilkan efisiensi yang tinggi adalah jenis C (lubang inti sebesar 20 x 9 cm) dengan efisiensi sebesar 18%.

Untuk bahan yang digunakan sebagai isolator sebaiknya terbuat dari tanah liat yang mempunyai sifat isolator dan tahan terhadap panas, sehingga pembakaran sekam akan lebih efektif dan efisien.

5.2. Saran

Bila penelitian ini akan dilanjutkan, disarankan bahwa: dapat dibuat variasi pada bagian lain seperti ukuran selongsong pada kompor, ataupun material untuk badan kompor tungku sekam. Selain itu penelitian selanjutnya dapat membuat tungku yang digunakan untuk sektor industri kecil.

DAFTAR PUSTAKA

Belonio AT. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Appropriate Techonology Center. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management. College of Agriculture Central Philippine University Iloilo City, Philippines.

Craig T. 1982. *Rice Husk as a Fuel.* Bandung: PT Tekton Books Pusat Teknologi Pembangunan Institut Teknologi Bandung.

Heru H. 2002. *Pembuatan Silika Amorf dan Limbah Sekam Padi*. Jurnal ILMU DASAR, Vol. 3 No.2, 2002: 98-103. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya.

Alatas H. 2007. *Pemanfaatan Sekam Padi dan Abu Sekam Padi untuk Pembuatan Bata Beton Berlubang*. e-jurnal Balitbang PU. Pusat litbang pemukiman. Bandung. www.pu.go.id/balitbang

Irzaman, H. Alatas, H. Darmasetiawan, A. Yani dan Musiran. 2008. *Development of Cooking Stove from Waste (Rice Husk)*. Institut Pertanian Bogor, Department of Physics, FMIPA IPB, Kampus IPB Dramaga

United Nations Environment Programme. 2006. *Peralatan Energi Panas: Tungku dan Refraktori.* Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri. www.energyefficiencyasia.org

.

ALAT PENGHEMAT LISTRIK UNTUK SEMUA JENIS SETRIKA MENGGUNAKAN SYSTEM SENSOR

Heru Wahyudi

Guru Fisika SMA Islam 3 Sleman Yogyakarta;
E-mail : heruwahyudi37@yahoo.co.id Hp. 0817464800

Abstrak

Tujuan pembuatan alat ini adalah untuk menghemat energi listrik yang digunakan pada waktu menggunakan semua jenis setrika. Alat ini dirancang menggunakan *system sensor otomatis* rangkaian elektronik dengan komponen utama LDR. Prinsip kerja alat ini yaitu : Pada waktu setrika diletakkan pada alas maka secara otomatis sensor akan merespon rangkaian elektronik bekerja untuk membatasi aliran arus listrik. Dalam kondisi ini arus listrik yang masuk pada seterika cukup untuk mempertahankan suhu panas normal. Namun, jika setrika diangkat dari alas secara otomatis system sensor akan mengkondisikan rangkaian elektronik bekerja untuk menggerakkan relay elektronik mengakibatkan setrika *by pass* dengan tegangan listrik PLN. Metode penghematan Energi Listrik pada penggunaan alat ini adalah memanfaatan jeda waktu setrika non aktif. Sampel yang digunakan dalam penelitian penghematan energi listrik, seseorang melakukan kegiatan menyetrika pakaian diperoleh data antara lain : setrika menggunakan ukuran 300 watt / 220 volt, jumlah pakaian 20 potong, alokasi waktu yang dipakai 40 menit. Hasil pengukuran menggunakan ampere meter menunjukkan pada waktu setrika diangkat arus listrik yang mengalir 1,25 Ampere sedangkan pada saat setrika diletakkan pada alas terukur arus listrik yang mengalir 0,4 Ampere. Hasil pengamatan pada pembacaan jumlah putaran piringan meter listrik milik PLN diperoleh data bila setrika tidak menggunakan alat penghemat tercatat sebanyak 835 putaran. Namun bila setrika menggunakan alat penghemat tercatat sebanyak 664 putaran. Dari data tersebut dapat disimpulkan penggunaan alat penghemat listrik mampu melakukan penghematan energi listrik sebesar 20,48%.

Kata kunci: Alat Penghemat Listrik, Setrika

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Penghematan energi menjadi isu besar seluruh bangsa-bangsa di dunia, penyediaan bahan bakar minyak BBM dari tahun ke tahun terus menipis sehingga timbul kekawatiran dari seluruh negara di dunia untuk mencari energi alternatif pengganti BBM. Energi Listrik merupakan salah satu wujud dari perubahan bentuk energi yang membutuhkan BBM hal ini karena pasokan listrik terbanyak dihasilkan dari PLTD. Seiring dengan kenaikan harga BBM, berimbas pada hampir seluruh lini kehidupan masyarakat sehingga memiliki efek domino.

Penghematan penggunaan listrik tidak luput dari perhatian pemerintah, himbauan-himbauan, slogan-slogan yang mengajak kepada setiap orang untuk mengemat listrik terus menerus senantiasa disampaikan melalui media cetak maupun elektronik. Masih teringat kata-kata "Hemat listrik hemat biaya", ada lagi slogan "Pangkas listrik 17.00–22.00", kemudian "Pergunakan listrik seperlunya", dan lain sebagainya. Memang energi listrik pada era modernisasi saat ini sangat mendominasi dalam kehidupan manusia. Salah satu penggunaan listrik pada hampir setiap orang adalah untuk Setrika.

Dalam kegiatan menggunakan setrika, energi listrik relatif besar diperlukan karena setrika listrik memiliki daya rata-rata 300 Watt. Untuk mengantisipasi energi listrik yang terbuang secara sia-sia pada saat menggunakan setrika listrik, maka penulis mencoba membuat alat dengan nama : *Alat Penghemat Listrik Secara Otomatis Untuk Semua Jenis Setrika Menggunakan System Sensor.*

Peristiwa penghematan listrik yang terjadi pada alat ini adalah pada waktu seseorang menggunakan setrika tidak secara terus menerus setrika digosokkan pada kain. Akan tetapi terkadang setrika diletakkan pada suatu alas karena kegiatan: membalik pakaian, melipat, memasang kancing, memasang pada hanger, mengambil pakaian, memasukkan ke wadah / keranjang, memasukkan pakaian ke almari, mengganti acara TV melalui *remote*, bahkan sambil makan makanan ringan dan lain sebagainya.

1.2. Identifikasi Masalah

Proses otomatis pada setrika listrik yang diterapkan pada setrika secara umum di pasaran belum memenuhi harapan untuk menciptakan efisiensi pemakaian energi listrik pada waktu menggunakan setrika listrik. Akan tetapi alat *termostat* yang terpasang didalam setrika tersebut sangat berhubungan dengan faktor temperatur / suhu, sedangkan pada prinsipnya logam bila terkena panas efek konduktifitasnya relatif lambat, maka tidak bisa dielakkan bila pada saat logam setrika sudah mencapai titik panas normal termostat terlambat untuk memutus arus listrik.

Berdasar latar belakang tersebut, peneliti dapat mengidentifikasikan masalah sebagai berikut:

1. Kurang efektif alat otomatis yang berupa *thermostat* pada setrika listrik di pasaran berkaitan dengan penghematan energi listrik.
2. Pada waktu menggunakan setrika listrik ada saat-saat setrika tidak digosokkan pada kain.
3. Pada masa sekarang ini sangat diperlukan efisiensi penggunaan energi listrik.

1.3. Pembatasan Masalah

Dalam makalah ini, peneliti mengadakan pembatasan masalah yaitu mengenai Pembuatan Alat Penghemat Listrik Secara Otomatis Untuk Semua Jenis Setrika Menggunakan System Sensor.

1.4. Perumusan Masalah

1. Bagaimana membuat alat penghemat listrik untuk setrika ?
2. Alat / bahan apa saja yang diperlukan untuk membuat ?
3. Sejauh mana peranan alat penghemat listrik untuk setrika listrik ?

1.5. Manfaat Pembuatan Alat

1. Untuk mendapatkan gambaran tentang pentingnya penghematan energi listrik khususnya dalam penggunaan setrika listrik.
2. Untuk mengetahui adanya kelemahan pada alat otomatis / termostat pada setrika listrik di pasaran.
3. Untuk melakukan penghemataan energi listrik pada saat menggunakan setrika listrik.
4. Untuk mengetahui sejauh mana peranan alat penghemat listrik otomatis dalam kehidupan sehari hari.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu

Pembuatan alat penghemat listrik ini dilaksanakan di tempat tinggal peneliti dan di SMA Islam 3 Sleman Yogyakarta pada semester genap tahun pelajaran 2007/2008, diperkirakan lamanya pembuatan alat memerlukan waktu selama tiga minggu mulai pertengahan bulan Mei 2008 sampai dengan awal bulan Juni 2008.

2.2. Alat dan Bahan

2.2.1. Alat

1. Multitester
2. pahat kecil
3. Obeng negative
4. Palu
5. Tang runcing
6. Tang potong
7. Soldir listrik
8. Kuas cat

2.2.2. Bahan

1. Kotak kayu dengan ukuran 20 cm x 30 cm dengan tinggi 8 cm
2. Rangkaian elektronik sensor cahaya
3. Transformator OT 426
4. Kabel kecil panjang 5 meter
5. Timah Soldir
6. Skrup runcing panjang 4 cm sebanyak 4 buah
7. Lem castol ukuran kecil
8. Alas setrika
9. Stop kontak listrik

2.2.3. Pelaksanaan

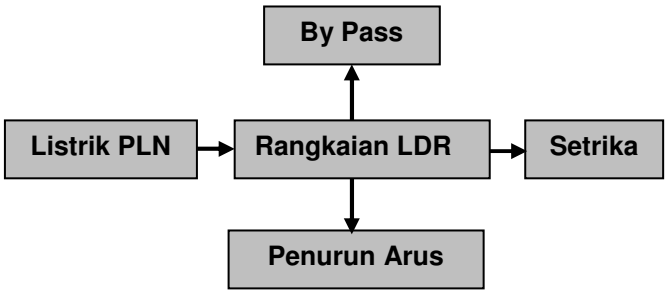
1. Membuat kotak kayu
2. Membuat Rangkaian elektronik
3. Perakitan
4. Finishing

2.2.4. Uji Alat Penghemat Listrik

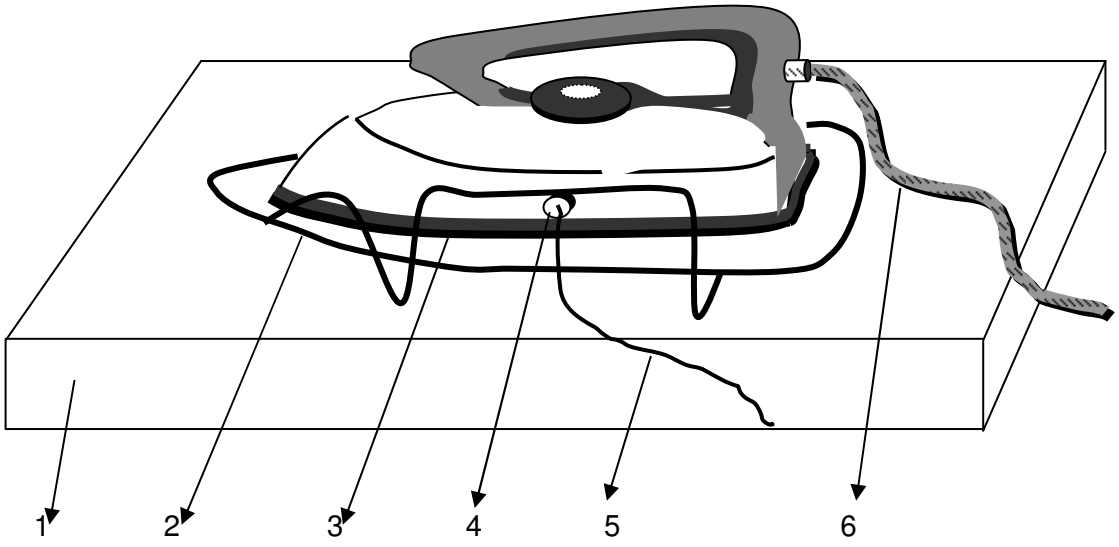
Dilakukan secara pribadi pada saat alat selesai dibuat dengan melakukan pengukuran dan pengamatan

2.2.5. Indikator Keberhasilan

Dilakukan pada saat penggunaan alat penghemat listrik untuk digunakan setrika akan menghasilkan perbedaan jumlah energi listrik yang dipakai bila dibandingkan tanpa menggunakan alat penghemat.



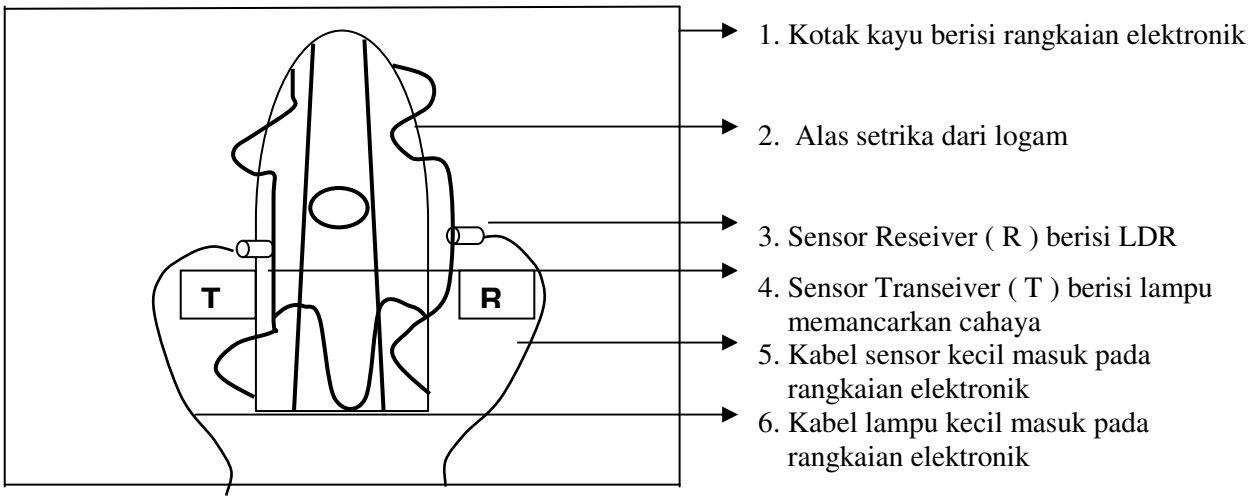
Gambar 1. Diagram Penghemat Listrik



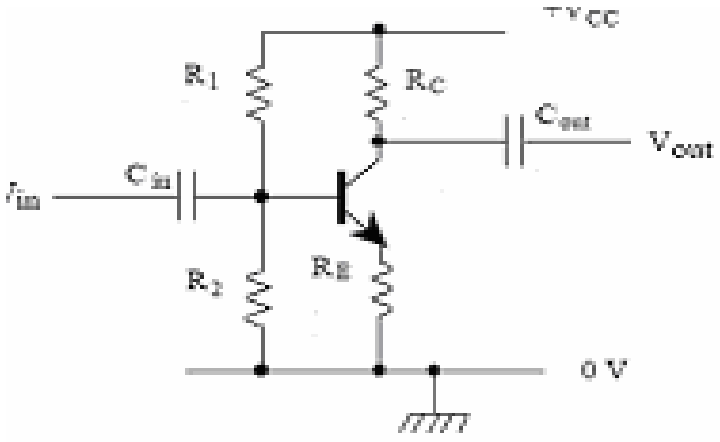
Keterangan gambar :

1. Kotak kayu berisi rangkaian elektronik
2. Alas setrika dari logam
3. Setrika listrik
4. Sensor LDR menempel pada alas setrika bagian atas
5. Kabel sensor LDR masuk pada rangkaian elektronik
6. Kabel setrika listrik masuk pada alat penghemat listrik

Gambar 2. Sket Alat Penghemat Listrik Otomatis Untuk Setrika Listrik

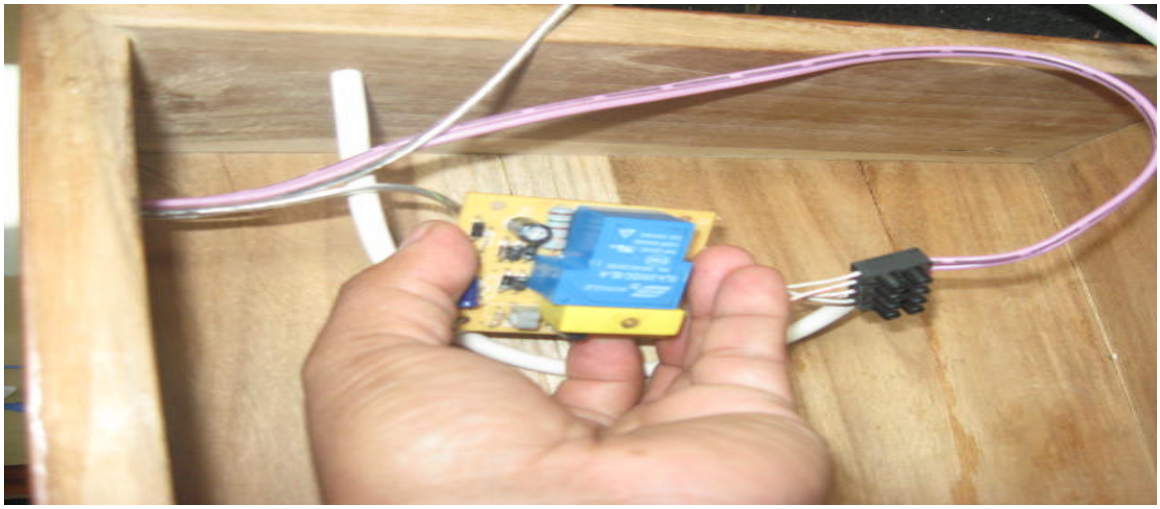


Gambar 3. Pandangan Atas : Sket Alat



Gambar 4. Rangkaian penguat dengan Transistor

Rangkaian penguat pada alat ini menggunakan komponen utama transistor berfungsi untuk memperkuat sinyal dari sensor LDR maupun untuk menggerakkan relay elektronik .



Gambar 5. Rangkaian penguat Transistor yang berada di dalam kotak

Tabel 1. Data Pengujian Sistem Kerja Alat dengan mengukur tegangan listrik dan kuat arus listrik yang masuk pada setrika

No	Angkat Setrika	Letakkan Setrika	Tegangan (Volt)	Kuat Arus (Amp)
1	0	1	115	0,4
2	1	0	220	1,25

Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa keseluruhan sistem dapat bekerja dengan baik. Data yang ditampilkan di tabel merupakan hasil pengukuran menggunakan voltmeter dan amperemeter AC.

Gambar 6. Alat siap untuk dipergunakan setrika

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pembuatan Alat Penghemat Listrik

1. Dengan menggunakan alat penghemat listrik mampu menghasilkan penghematan energi listrik.
2. Pada umumnya pembuatan alat penghemat listrik untuk setrika listrik telah berhasil meskipun ada beberapa kelemahan.
3. Dampak positif tanpa direncanakan yaitu, menambah keamanan dan kenyamanan pada waktu menggunakan setrika.
4. Mampu membuat awet umur setrika dan mengurangi bau tidak sedap pada waktu menyetrika karena terlalu panasnya elemen logam setrika.

4. KESIMPULAN

1. Pembuatan alat penghemat listrik untuk setrika listrik telah berhasil menciptakan penghematan energi listrik pada kehidupan sehari-hari.
2. Dengan menggunakan alat penghemat listrik mampu melakukan penghematan energi listrik antara (20-30) %.
3. Dampak positip penggunaan alat penghemat listrik dapat membuat umur setrika semakin panjang, menambah rasa keamanan dan kenyamanan, mengurangi bau tidak sedap pada waktu menyetrika.

5. SARAN

1. Penggunaan alat penghemat listrik untuk setrika sebaiknya mengikuti prosedur agar dihasilkan penghematan energi listrik yang maksimal.
2. Alat penghemat listrik ini khusus dirancang untuk digunakan 1 (satu) buah setrika.
3. Hendaknya masyarakat menciptakan iklim penghematan energi listrik dalam segala aktifitas kehidupan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Kholisin dan Bapak Oktova sehingga penelitian ini dapat selesai.

DAFTAR PUSTAKA

Cooper, William D. 1999. *Istrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran.* Penerbit Erlangga. Jakarta

Hallyday, Resnick. 1978. *Fisika jilid II.* Alih bahasa Pantur Silaban, Ph.D. Jakarta : Erlangga

Sutrisno. 1987. *Elektronika dan Penerapannya jilid 2,* Bandung: ITB

DISAIN SISTEM PENGUKURAN KECEPATAN ANGIN SECARA *REAL TIME*

Bilalodin

Program Studi Fisika
Jurusan MIPA, Fakultas Sains dan Teknik UNSOED Purwokerto

Abstract

A wind speed measurement system has been designed using a wind speed sensor based on dynamo 3E111302 and a wind direction sensor based on voltage divider circuit. An interface of USB NI-6009 is used to connect a personal computer and the sensor. Data acquisition use the computer based on packed program LabVIEW7.1. Measurement results are shown in graphic, numeric form as well as in several units of speed, and description of wind direction. The system is characterized by exposing it to various wind speed from 0 m/s and 5,5 m/s. The characterization result shows that the system is sensitive and stable toward wind speed change with sensitivity 0.07 V/(m/s) and response time of t_{90}= 4.5 s.

Keywords: wind speed, wind direction, USB NI-6009 Interface, LabVIEW7.1

1. PENDAHULUAN

Angin merupakan fenomena fisika yang menggambarkan pergerakan udara sehingga menimbulkan energi. Indonesia merupakan daerah dengan energi angin cukup besar. Energi angin dapat dimanfaatkan sebagai salah satu energi alternatif pembangkit listrik yang cukup ekonomis, karena selain alat yang digunakan untuk membangkitkan listrik murah, angin juga mudah didapatkan di alam bebas tanpa biaya. Polusi udara, air, dan tanah yang dihasilkan dari sumber energi gas dan minyak bumi juga menjadi pertimbangan pemanfaatan energi angin ini (Daryanto 2007).

Energi angin merupakan jenis energi terbarukan (*renewable*) yang sangat fleksibel, karena energi angin tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, baik mekanik maupun elektrik. Pemanfaatan energi angin secara mekanik, yaitu untuk pemompaan air rumah tangga, irigasi/pertanian, pengeringan, aerasi tambak dan lain-lain. Sedangkan pemanfaatan energi secara elektrik, terutama sebagai pembangkit listrik (Kompas 30 Maret 2007).

Besarnya energi angin dapat diperkirakan dengan mengetahui kecepatan angin yang terjadi. Kecepatan angin dapat diukur menggunakan anemometer. Beberapa anemometer yang digunakan pada saat ini hanya dapat mengukur kecepatan angin pada saat tertentu saja dan dalam satuan yang terbatas. Berbagai pihak yang memerlukan data kecepatan angin kontinu akan kesulitan jika menggunakan anemometer tersebut. Oleh karena itu, perlu adanya pengukur kecepatan angin *real time*, agar dapat dipantau kecepatan setiap saat.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tiga buah mangkok, lem perekat, logam aluminium, kabel listrik, dinamo 3E111302 resistor 100 kΩ, batu baterai 9 V dan beberapa papan penyangga. Sedangkan alat yang digunakan adalah : multimeter digital, kipas angin, anemometer, *interface* (*DAQ*) USB NI-6009, *Personal Computer* (PC) dan *software* LabVIEW 7.1.

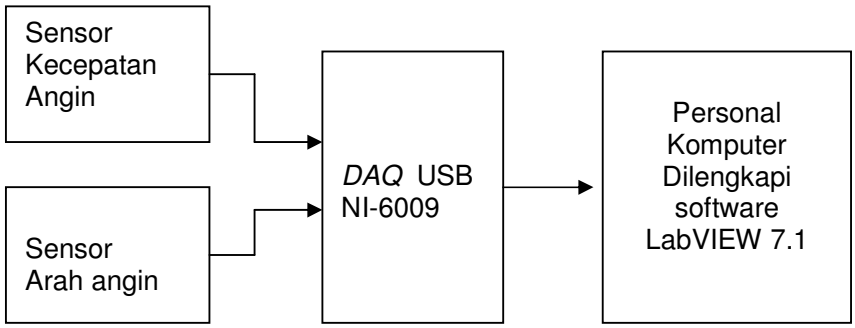
2.2. Metode

2.2.1. Disain Sensor

Disain sistem pengukuran kecepatan angin dimulai dari pembuatan anemometer mangkok dengan cara menyusun tiga buah mangkok dilekatkan pada logam aluminium dan dipasang pada amatur dinamo 3E111302. Sedangkan sensor arah angin tersusun dari rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari 8 resistor dengan masing-masing hambatan sebesar 100 ohm dan dilengkapi tegangan sumber 9 Volt. Sensor arah angin dilengkapi mata sensor yang berfungsi sebagai arah sumber angin.

2.2.2. Penyusunan (*Set Up*) Alat Pengukur Kecepatan Angin

Penyusunan sistem pengukuran kecepatan angin tampak pada Gambar 1. Pada Gambar 1 tampak bahwa sistem terdiri atas sensor kecepatan angin, arah angin, DAQ dan satu unit personal computer yang dilengkapi paket *software* LabVIEW 7.1.

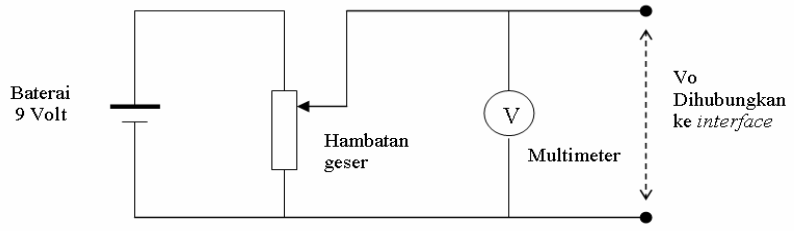


Gambar 1. Blok diagram sistem pengukuran kecepatan angin secara *real time*

2.2.3. Pembuatan Program dan Kalibrasi

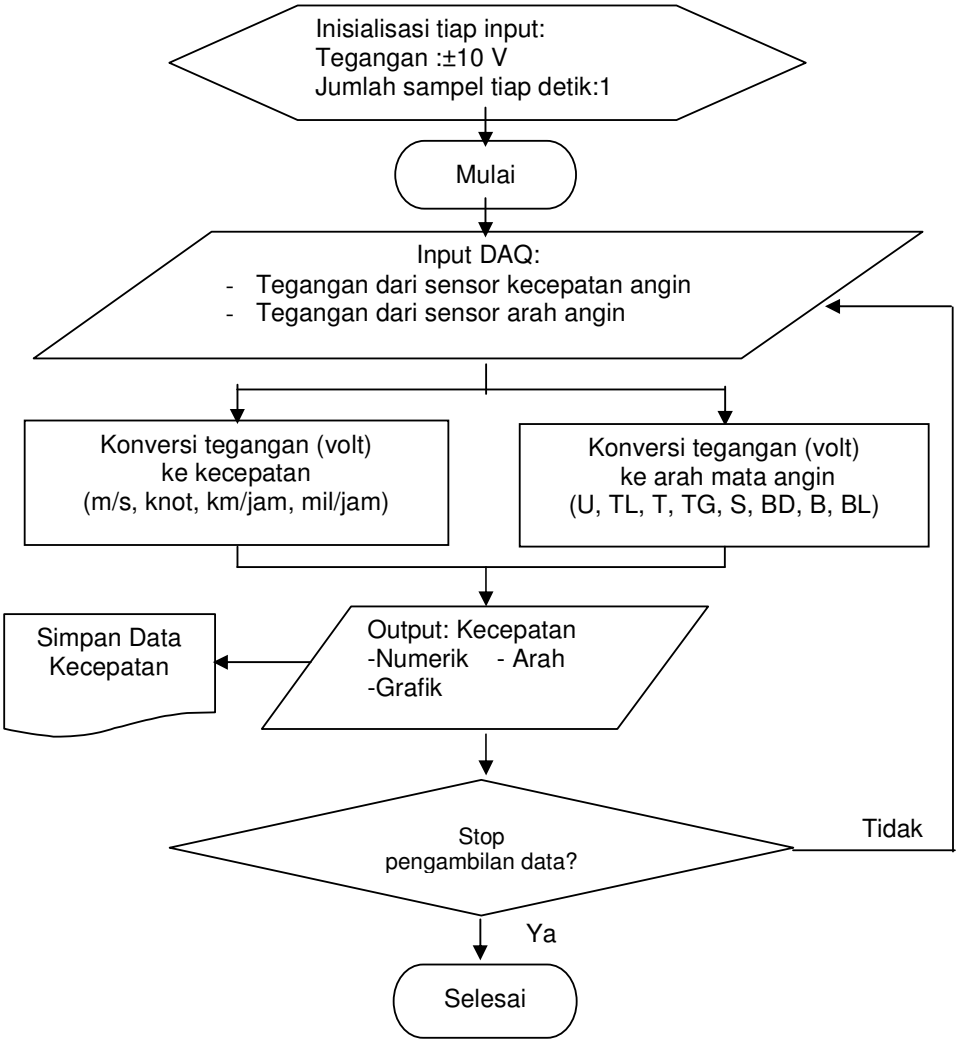
Program dibuat untuk menampilkan hasil pengukuran kecepatan angin dan arah angin yang mengenai sensor. *Software* yang digunakan adalah LabVIEW 7.1. Sebelum membuat program, dilakukan instalasi *software* LabVIEW 7.1 dan *software driver DAQ*

(NI6009). Pengujian program sementara dilakukan dengan memberikan tegangan input dari baterai (Gambar 2). Apabila tegangan yang ditampilkan pada *front panel* LabVIEW7.1 sama dengan tegangan pada multimeter berarti pemrogramannya benar.



Gambar 2. Rangkaian penguji program sementara (Johnson 1997)

Diagram alir dibuat untuk mempermudah pembuatan program. Diagram alir pemrograman pengukur kecepatan dan arah angin dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir pembuatan program kecepatan dan arah angin

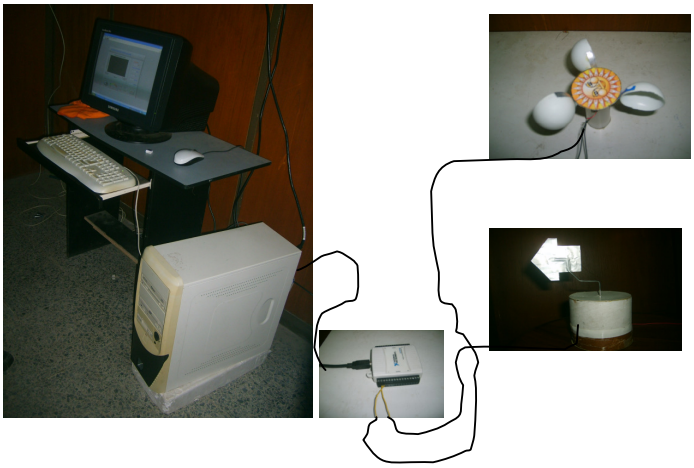
Data kalibrasi didapat dengan membandingkan nilai kecepatan angin yang terukur pada anemometer digital dengan tegangan keluaran sensor yang terekam pada program LabVIEW 7.1.

2.2.4. Pengujian alat

Pengujian alat terdiri dari pengujian histerisis, kestabilan dan respon sensor (Freden 2004). Pengujian histerisis dimaksudkan melihat tidak adanya deviasi dari sensor ketika sensor digunakan pada arah yang berlawanan, sedangkan kestabilan dan respon sensor untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca ulang hasil pengukuran. Uji histerisis dilakukan menggunakan sumber angin 0 sampai 5,5 m/s. Pengujian kestabilan dan respon sensor menggunakan angin dengan kecepatan 4,2 m/s selama 10 detik, kemudian diturunkan secara mendadak menjadi 0 m/s selama 10 detik, lalu dinaikkan lagi menjadi 4,2 m/s dan seterusnya sampai 10 kali.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

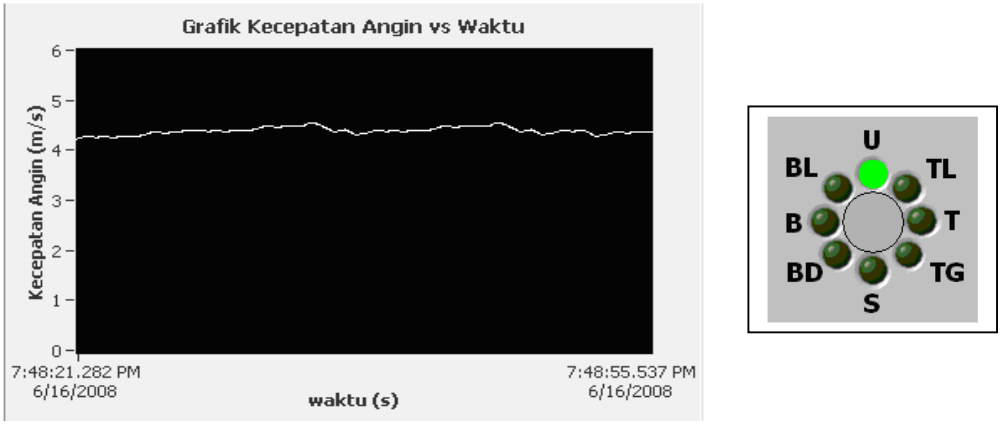
Gambar 4 menunjukkan foto dari sistem pengukuran kecepatan dan arah angin secara *real time*. Sistem yang dibangun terdiri atas sensor kecepatan angin model mangkok dan sensor arah angin. Output dari sensor diubah menjadi sinyal digital oleh *DAQ* (NI6009) dan diproses menggunakan *sofware* LabVIEW 7.1 pada personal komputer.



a. Personal Computer b. DAQ c. Sensor kecepatan dan arah angin

Gambar 4. Foto dari sistem pengukuran kecepatan dan angin secara *real time*

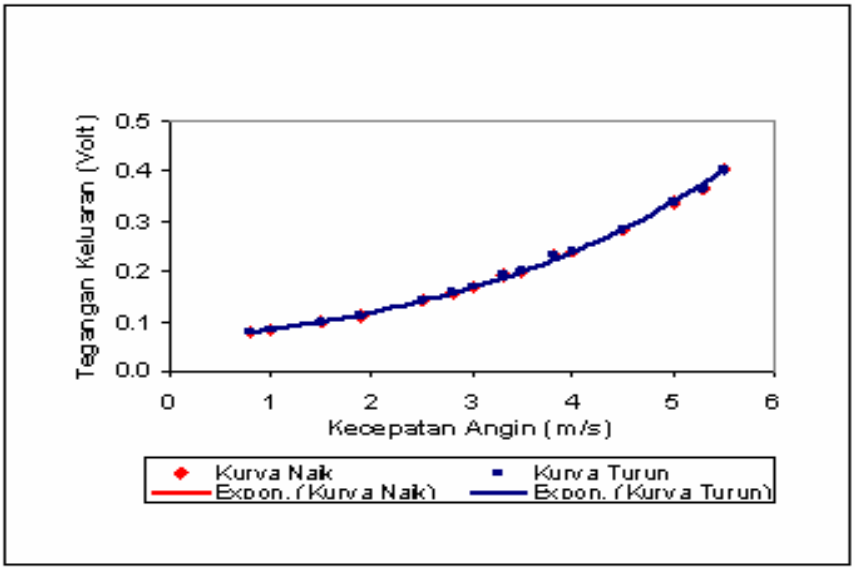
Sistem yang dibuat juga mampu menampilkan data arah angin dengan sangat baik. Gambar 5 menunjukkan hasil rekaman kecepatan angin dan arah angin pada sumber kecepatan angin 4,2 m/s.



(a) (b)

Gambar 5. Hasil perekaman (a)) kecepatan angin dan (b) arah angin secara *real time*

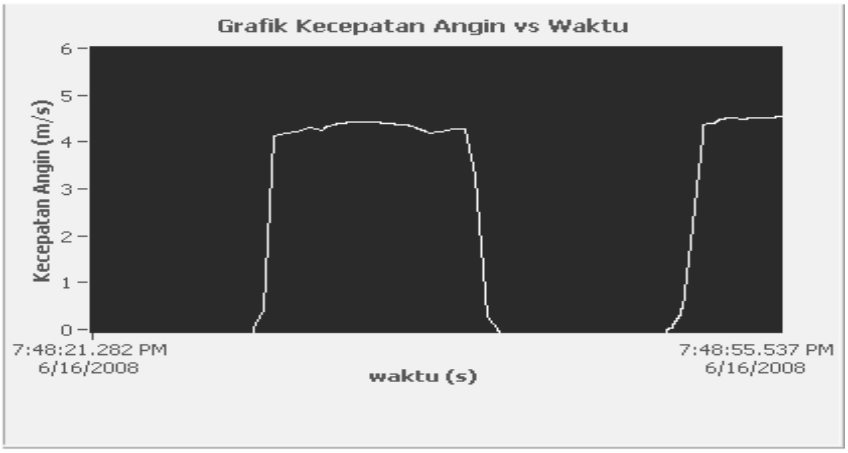
Berdasarkan hasil pengujian alat meliputi histeresis, kestabilan dan respon sensor menunjukkan bahwa tidak adanya deviasi dari sensor ketika sensor digunakan pada arah yang berlawanan. Hasil pengolahan data menunjukkan sensor tidak memiliki histeresis (Gambar 6). Kestabilan sensor dan respon sensor juga sangat baik (Gambar 7). Analisis menggunakan program Excel menghasilkan nilai waktu respon sensor yaitu t_{90} = 4,5 detik dan sensitivitas 0.07 V/(m/s) dengan t_{90} adalah waktu yang dibutuhkan sensor untuk berubah dari keadaan awal ke 90% dari keadaan akhir (Widanarto)



Gambar 6. Grafik Histeresis

Pengujian kestabilan dilakukan pada dua kecepatan angin yang berbeda (0 m/s dan 4,2 m/s) dan dilakukan secara berulang untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca ulang hasil pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan sensor memiliki

kestabilan yang baik pada kecepatan angin 0 m/s maupun pada 4,2 m/s. Sensor juga menunjukkan kemampuan yang baik dalam membaca ulang hasil pengukuran.



Gambar 7. Grafik kestabilan dan respon sensor

4. KESIMPULAN DAN PROSPEK

1. Disain sistem pengukuran kecepatan angin secara *real time* telah berhasil diwujudkan dengan bantuan *sofware* LabVIEW 7.1.
2. Hasil pengujian menunjukkan sistem cukup stabil dan tidak ada histerisis. Sensor kecepatan angin mampu mendeteksi kecepatan angin mulai 0,8 m/s sampai 5,5 m/s dengan sensitivitas 0,07V/m/s dan waktu respon t_{90}= 4,5 detik.

DAFTAR PUSTAKA

Daryanto Y. 2007. Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Banyu. Balai PPTAGG. Yogyakarta.

Kompas. 30 Maret 2007. Pengembangan Energi Angin Memungkinkan. Hlm 15.

Johnson CD. 1997. Process Control Instrumentasi Technology. University of Houston Freden J. 2004. Handbook of Modern Sensors. Springer Verlag. New York.

Widanarto WR. Gas Detection with Floating Gate Field Effect Transistor. Cuvillier Verlag. Gottingen.

PEROLEHAN KEMBALI BAHAN BERNILAI EKONOMIS DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI PERTANIAN

(Recovery of Valuable Materials from Agroindustrial Wastewaters)

Suprihatin

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB
Kampus IPB Darmaga Bogor
Telp/Fax: 0251 86 21 974, email: suprihatin@indo.net.id

Abstract

Agroindustries, such as cane sugar industry, oil palm industry, tapioca industry, rubber industry, and fish / meat processing industry, are water-consuming and discharge highly polluted wastewater in large amount. The discharge of the wastewaters without sufficient treatment resulted in physical, chemical and biological environmental pollution. In the other side, the materials contained in the agroindustrial wastewaters are valuabe, such as organic substances (carbohydrate, proteins, oil/fat, vitamine), macro- and micronutrients. By using appropriete technologies, the materials can be recovered and utilized economically. This paper describes characteristics of agroindustrial wastewaters (quantity and quality) and appropriate technologies for recovering valuable materials from agroindustrial wastewaters covering organic materials and nutrients. Case studies are evaluated in recovery of oil/fat, organic materials, nutrients, sludge and water. The evaluation covers technical, economical and environmental aspects. Results indicate that the valuable materials can be recovered economically by using appropriate technologies. The recovery of the materials means also reduction of pollutant load which lower environmental risk and also reduction in investment and operating costs of wastewater treatment.

Keywords: agroindustrial wastewater, organic material recovery, nutrients recovery, microalgae

1. PENDAHULUAN

Proses agroindustri pada dasarnya adalah proses konversi atau transformasi hasil pertanian menjadi produk agroindustri. Proses tersebut membutuhkan bahan penolong (bahan kimia, air maupun bahan bakar/energi), serta menghasilkan selain produk utama juga hasil samping atau limbah baik limbah (padat, cair dan gas). Untuk kebanyakan industri pertanian (agroindustri), masalah limbah cair lebih dominan dibandingkan dengan limbah padat dan gas.

Limbah cair agroindustri, misalnya limbah cair industri tapioka, pulp dan kertas, pengolahan karet, dan pengolahan ikan, mengandung berbagai jenis polutan yaitu bahan organik dan nutrien (N,P). Bahan-bahan tersebut dapat menyebabkan polusi jika dibuang ke lingkungan tanpa pemgolahan yang memadai. Bahan organik menyebabkan deplesi oksigen di badan air penerima serta menyebabkan bau busuk (dampak lokal) dan emisi

metana (dampak global). Metana merupakan gas rumah kaca (GRK) yang memiliki efek sekitar 20-30 kali lebih kuat dibandingkan dengan gas karbon dioksida, sedangkan nutrien dapat menyebab pertumbuhan berlebih biota air, eutrofikasi, mempercepat proses pendangkalan badan air penerima, serta mengganggu estetika. Di sisi lain, bahan-bahan yang terkandung di dalam limbah cair agroindustri tersebut di atas memiliki nilai ekonomi. Paper ini mendeskripsikan berbagai peluang untuk memperoleh kembali bahan-bahan dari limbah agroindustri untuk tujuan ekonomi dan perlindungan lingkungan, mencakup jenis bahan dan manfaat yang dapat diperoleh, teknologi yang sesuai, kendala-kendala yang masih ada serta arah pengembangan yang masih diperlukan.

2. METODOLOGI

Data karakteristik limbah cair agroindustri dikumpulkan dari berbagai sumber yaitu hasil studi literatur, observasi lapang dan percobaan laboratorium yang pernah dilakukan. Berdasarkan data tersebut disoroti pengaruh negatif bahan-bahan (polutan) dalam limbah cair agroindustri terhadap lingkungan dan diidentifikasi opsi-opsi teknologi yang sesuai untuk memperoleh kembali bahan-bahan tersebut sekaligus untuk mereduksi pengaruh negatifnya terhadap lingkungan. Analisis dilakukan untuk mengkuantifikasi potensi manfaat yang dapat diperoleh, mencakup manfaat ekonomis dan manfaat lingkungan. Manfaat ekonomi ditinjau nilai bahan yang diperoleh, sedangkan manfaat lingkungan ditinjau dari aspek reduksi beban pencemaran, yang dinyatakan dalam penurunan beban polutan (COD, nutrien) dan reduksi emisi, seandainya bahan tersebut dibuang ke lingkungan dan terdegradasi secara anaerobik. Dari hasil analisis tersebut kemudian diidentifikasi masalah-masalah yang masih ada dan diformulasikan arah pengembangan lebih lanjut untuk dapat memanfaatkan potensi yang ada untuk keperluan ekonomi dan lingkungan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berbagai bahan yang dapat diperoleh dari limbah cair agroindustri, opsi teknologi, potensi manfaat dan rekomendasi pengembangannya disajikan pada Tabel 1, dan dibahas dalam sub-bab berikut. Mintak/lemak dibahas secara terpisah dari bahan organik, karena karakteristik spesifiknya (relatif mudah dipisahkan dan dimurnikan, dan memiliki nilai ekonomi tinggi).

Tabel 1. Berbagai bahan yang dapat diperoleh dari limbah cair agroindustri, opsi teknologi, potensi manfaat dan rekomendasi pengembangannya.

No.	Bahan	Sumber limbah cair (contoh)	Opsi teknologi	Manfaat	Rekomendasi pengembangan
1	Minyak/ lemak	Industri pengolahan ikan, industri pangan	Oil trap, flotasi, sentrifugasi (decanter)	▪ Perolehan kembali minyak ikan (harga minyak ikan: Rp 2.000-Rp 10000,-/kg) ▪ Reduksi organik (≈ 2,54 kg COD/kg minyak) ▪ Pencegahan emisi GRK	▪ Optimasi unit operasi pemisahan minyak ▪ Pengembangan / impmentasi proses pemurnian minyak untuk meningkatkan nilai tambah
2	Bahan organik	Industri tapioka, industri minyak kelapa sawit, industri gula, industri tahu, industri pemotongan hewan, industri karet, industri peternakan, dan agroindustri lainnya	Pengolahan secara anaerobik, dan pemanfaatan biogas sebagai sumber energi	▪ Perolehan energi dari biogas ▪ Reduksi GRK	▪ Pengembangan/optimasi proses konversi bahan organik menjadi biogas ▪ Pengembangan metode pemurnian biogas (eliminasi NH_3, H_2S) ▪ Optimasi konversi biogas menjadi energi listrik
3	Nutrien / unsur hara	Industri minyak kelapa sawit, industri tahu, industri pemotongan hewan, industri karet, industri peternakan, industri pengolahan ikan, dan agroindustri lainnya	*Land application*, kultivasi mikroalga	▪ Recycling nutrien → pencegahan eutrofikasi ▪ Perolehan biomass untuk bioenergi, pangan, atau bahan farmasi ▪ Reduksi emisi GRK (biofiksasi CO_2, produksi biomassa, dan konversi menjadi biodisel)	▪ Integrasi fiksasi CO_2 dan eliminasi nutrien dari limbah cair, dan fiksasi CO_2 dari gas buang 9stack gas) ▪ Pemurnian dan pemanfaatan bahan aktif dalam sel mikroalga ▪ Pengembangan metode pemisahan sel alga dari medium pertumbuhannya, misalnya dengan teknologi membran filtrasi ▪ Pengembangan metode kultivasi mikroalga untuk meningkatkan pemanenan energi matahari, termasuk melalui pendekatan bioteknologi ▪ Seleksi dan kultivasi mikroalga yang dapat menghasilkan bahan bernilai tinggi, seperti produk farmasi ▪ Demo sistem produksi mikroalga skala pilot plan / skala teknis
4	Biosolid/sludge	Berbagai jenis agroindustri	Penurunan kadar air (*dewatering),* dan stabilisasi biologis / co-composting	▪ Perolehan kembali nutrien dan bahan organik sebagai pupuk organik ▪ Perbaikan karakteristik tanah marginal	▪ Demo percontohan co-composting dan pengembangan metode aplikasi optimum untuk jenis tanaman tertentu
5	Air	Berbagai jenis agroindustri	Teknologi membran filtrasi dengan pra-perlakuan lumpur aktif, koagulasi/flokulasi, sedimentasi	▪ Recycling air ▪ Konservasi sumberdaya air	▪ Uji coba untuk industri yang membutuhkan air dalam jumlah besar, seperti industri pulp dan kertas, industri gula, dan industri CPO (*Crude Palm Oil*)

3.1. Recovery Minyak

Berbagai agroindustri menghasilkan limbah cair dengan kandungan minyak/lemak dalam konsentrasi tinggi, misalnya industri pengolahan ikan. Miller et al. (2008) melaporkan minyak/lemak dalam limbah cair mencapai 120 mg/L (industri pengolahan ikan) atau 12%COD (industri pemasakan tuna). Sifat fisik minyak yang paling nyata adalah tidak larut dalam air dan berat jenisnya lebih kecil daripada air, sehingga minyak biasanya mengambang dipermukaan air.

Sebagian besar minyak dalam alam terdiri dari 98-99 persen trigliserida. Contoh trigliserida sederhana adalah tristearin dengan rumus kimia $C_{57}H_{46}O_6$ (Purnomo dan Adiono, 1987). Apabila minyak dalam limbah cair dibuang ke lingkungan akan terdegrasi baik dalam kondisi aerobik maupun anaerobik. Pada proses degradasi secara biologis, mikroba mengkonversinya menjadi senyawa yang lebih sederhana, dan energi yang dihasilkan digunakan untuk pertumbuhan dan reproduksinya. Pada kondisi dimana tersedia oksigen proses perombakan berlangsung secara aerobik dan dihasilkan produk akhir berupa karbon dioksida dan air. Persamaan reaksi berikut menunjukkan reaksi dekomposisi minyak secara aerobik (untuk kasus trigliserida, komponen utama minyak): $C_{57}H_{46}O_6 + 65{,}5\ O_2 \rightarrow 57\ CO_2 + 23\ H_2O$. Sesuai dengan persamaan reaksi tersebut, pengambilan 1 kg minyak setara dengan reduksi polutan organik setara 2,54 kg COD (*Chemical Oxygen Demand*).

Apabila minyak terdegradasi pada kondisi tidak tersedia oksigen, maka proses degradasi berlangsung secara anaerobik. Proses ini menghasilkan produk akhir berupa biogas yang terdiri dari metana dan karbon dioksida (Boenke, Bischofberger, dan Seyfried, 1993). Metana yang kadarnya dalam biogas mencapai 50-70% merupakan GRK yang memiliki kekuatan efek rumah kaca 20-30 kali lebih besar dibandingkan dengan karbon diokasida (Porteous, 1992). Roedinger dan Kapp (1990) melaporkan bahwa degradasi 1 kg minyak akan menghasilkan 1,27 Nm^3 biogas atau 0,86 Nm^3 CH_4 per kg minyak yang terdegradasi. Biogas dari degradasi minyak memiliki komposisi sekitar 68% CH_4 dan 32% CO_2.

Minyak/lemak ikan memiliki nilai nutrisi dan dapat digunakan untuk keperluan pangan dan industri. Tergantung kualitasnya, harga minyak ikan berkisar antara Rp 2.000 – Rp 10.000,-. Minyak/lemak dapat dipisahkan dari fraksi air dengan menggunakan prinsip perbedaan desnitas, misalnya dengan unit oil trap, flotasi atau dekanter tiga fase (sentrifugasi). Unit operasi pemisahan minyak ini masih memerlukan optimasi. Untuk mendapatkan nilai jual yang tinggi, minyak ikan dari limbah cair memerlukan pengolahan / pemurnian lebih lanjut dengan melibatkan tahapan proses pencucian, netralisasi, *bleaching*, dan deodorisasi. Sebagai ilustrasi, minyak ikan dari limbah cair di kompleks

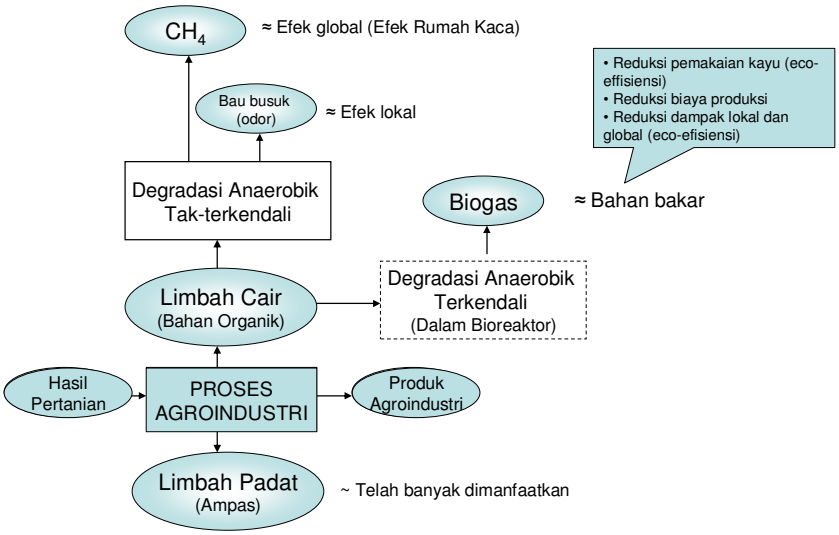
industri perikanan di Muncar, Banyuwangi, kualitas C dan B dengan harga Rp 3.000 – Rp 4.000,-/kg dapat diolah menjadi minyak dengan kualitas A dengan harga Rp 10.000,-/kg, sehingga diperoleh peningkatan harga antara Rp 6.000 – Rp 7.000,- per kg minyak. Satu unit industri recycling minyak dengan kapasitas 3.000 kg per sekali olah secara teoritis dapat meningkatkan nilai tambah mencapai Rp 18 juta hingga Rp 21 juta.

3.2. Recovery Bahan Organik

Dengan menggunakan teknologi yang sesuai, misalnya UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) dan AFBR (*Anaerobic Fluidized Bed Reactor*), bahan organik dalam limbah cair dapat dikonversi menjadi energi terbarukan berupa biogas dengan kandungan utama gas metana. Satu kg COD dapat dikonversi menjadi 0,39 m^3 metana. Biogas merupakan gas campuran dengan kandungan utama metana (50-70%vol.) dan karbon diokasida (30-40%vol.), serta sejumlah kecil gas kelumit seperti H_2, H_2S, uap H_2O, dan nitrogen. Nilai kalor biogas 16.000-20.000 kJ/m^3, 60-80% dari nilai kalor gas alam (Hutzler, 2004). Pemanfaatan bahan organik sebagai bahan baku produksi biogas dapat menjadi alternatif untuk mengurangi masalah ketersediaan energi dan masalah pencemaran lingkungan. Dampak negatif limbah cair agroindustri dan alternatif solusinya melalui pengolahan limbah cair secara anaerobik ditunjukkan secara skematik pada Gambar 1. Perkembangan dewasa ini menunjukkan bahwa penerapan pendekatan ini semakin meningkat, terutama akibat semakin menipisnya ketersediaan energi fosil (Geissen, 2008).

Proses anaerobik untuk pengolahan limbah cair dapat memanfaatkan mikroorganisme dalam keadaan tersuspensi atau mikroorganisme dalam struktur biofilm. Dalam struktur biofilm (*fixed growth*), biofilm dapat dibentuk tanpa penambahan media / carrier (granular) atau pada media pembawa (plastik atau mineral). Teknologi biofilm ini telah banyak dikembangkan untuk pengolahan limbah cair karena keunggulannya dibandingkan dengan bioreaktor anaerobik jenis lainnya. Pembentukan biofilm memungkinkan peningkatan konsentrasi biomassa dalam sistem bioreaktor hingga 50 g/L, sehingga kemampuan bioreaktor dapat ditingkatkan secara drastis (Molleta, 2005). Teknologi biofilm yang banyak menjadi perhatian adalah UASB maupun AFBR. Dalam sistem UASB, mikroorganisme tumbuh dalam bentuk granular, yang berada dalam bentuk “tersuspensi” oleh adanya aliran biogas yang terbentuk dan akibat aliran resirkulasi limbah cair. Pada bagian atas sistem UASB dilengkapi dengan kompartemen yang berfungsi sebagai pengendap biomassa dan penahan granular agar tidak terbawa oleh aliran efluen. Pada sistem AFBR, media tumbuh mikroorganisme (biofilm) dalam keadaan terfluidisasi *(fluidized*) oleh aliran resirkulasi limbah cair. Kedua teknologi biofilm tersebut

di atas telah banyak diteliti untuk pengolahan berbagai jenis limbah cair dan menunjukkan hasil yang efektif. Dibandingkan dengan sistem tersuspensi konvensional yang beban organiknya hanya sekitar 1-5 kg COD/m^3/hari, dengan sistem biofil beban organik dapat ditingkatkan sampai 5-15 kg COD/m^3/hari untuk UASB dan 15-30 kg/m^3/hari untuk AFBR (Molitta, 2005; Qureshi et al., 2005). Berapa hal yang masih memerlukan pengembangan lebih lanjut adalah optimasi proses konversi bahan organik dari berbagai jenis limbah agroindustri menjadi biogas, pengembangan metode pemurnian biogas (eliminasi NH_3, H_2S), dan optimasi konversi biogas menjadi energi listrik.



Gambar 1. Skema dampak negatif agrindustri dan alternatif solusinya melalui pengolahan limbah cair secara anaerobik

3.3. Recovery Nutrien

Dalam sistem pengolahan limbah cair, misalnya dalam sistem lumpur aktif atau sistem lagoon, bahan organik dioksidasi oleh mikroorganisme baik dalam kondisi aerobik maupun anaerobik. Hasil oksidasi bahan organik adalah H_2O, karbon dioksida, nitrat dan fosfat. Beberapa limbah cair agroindustri mengandung nutrien dalam konsentrasi tinggi (Tabel 2) yang dapat dimanfaatkan secara ekonomis. Daur-ulang nutrien yang paling sederhana adalah penggunaan limbah cair sebagai pupuk organik atau untuk pengairan lahan melalui pengembangan teknik aplikasinya. Sebagai contoh, aplikasi limbah cair untuk pengairan tanaman kelapa sawit dengan laju yang terkendali dapat memperbaiki struktur tanah (fisik, kimia maupun biologis), mereduksi pemakaian pupuk sintetik,

memberikan dampak positif terhadap perolehan hasil, serta tidak menimbulkan masalah pencemaran lingkungan (Lim at al., 1999).

Tabel 2. Konsentrasi nutrien dalam beberapa jenis limbah cair agroindustri

No.	Jenis limbah cair	Konsentrasi nutrien (mg/L)			Referensi
		N	P	K	
1	Limbah cair industri pengolahan kedele	78-45	120-170	-	Tay (1990)
2	Limbah cair industri gula	4	1,75	18,6	Chang, Yang, dan Whalen (1990)
3	Limbah cair industri minyak kelapa sawit	546	-	-	Lim et al. (1999)
4	Limbah cair industri tapioka	15	3	-	Pengukuran sendiri
5	Limbah cair industri karet	8,9	1,6	-	Pengukuran sendiri
6	Limbah cair industri peternakan sapi	100	13	-	Pengukuran sendiri
7	Limbah cair industri daging	70-200	-	-	Bhamidimirri (1991)

Metode lain untuk memperoleh kembali nutrien adalah dengan menggunakan mikroalga, diamana mikroalga menggunakan bahan tersebut untuk sintesis sel dengan menggunakan energi matahari dalam suatu proses fotosintesis. Dari 1 g fosfor dapat dihasilkan biomassa sekitar 115 g bahan kering. Mikroalga tergolong jenis tanaman dan mampu mensintesis triacyglyserols (TAGs) yang dapat digunakan untuk menghasilkan berbagai bahan kimia, seperti FAMES (fatty acid methyl ester) yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan biodiesel. Mikroalga saat ini menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang menjanjikan karena berbagai alasan (Avagyan, 2008; Chisti, 2007), yaitu: i) perolehan bahan bakar dari mikroalga jauh lebih banyak dibandingkan dari jenis tanaman lainnya (Tabel 3), ii) mikroalga dapat dibudidayakan di lahan maginal sehingga tidak berkompetisi dengan tanaman lainnya dan proses produksi berlangsung cepat, dan iii) mikroalga dapat mengkoversi polutan (nutrien dari limbah cair atau CO_2 dari gas buang) menjadi bahan bakar. Zemke, Wood dan Dye (2008) melaporkan bahwa nilai ekspektasi produktivitas biodiesel dari mikroalga di USA sekitar 42 L/m^2/tahun.

Penggunaan mikroalga dalam pengolahan limbah cair memberikan berbagai manfaat yaitu efluen dengan kualitas tinggi (eliminasi nutrien) dan biomassa mikroalga yang memiliki nilai ekonomi. Biomass mengandung berbagai bahan bernilai ekonomi, misalnya protein, gliserol, pigmen, enzyme, asam-asam amino, bahan farmasi, antibiotik dan pupuk organik. Selain itu, karena biomassa mikroalga mengandung 50% (berat kering) karbon yang berasal dari karbon dioksida, dan untuk menghasilkan 100 ton berat kering biomassa dibutuhkan secara kasar 183 ton karbon dioksida (Chisti, 2007). Produksi mikroalga juga berkontribusi terhadap reduksi emisi gas GRK. Namun perlu dicatat bahwa fiksasi karbon dioksida ke dalam biomassa mikroalga tidak dengan sendirinya mereduksi emisi GRK; reduksi emisi GRK baru terjadi jika biomassa mikroalga

tersebut digunakan untuk produksi bioetanol untuk substitusi bahan bakar fosil (Brune et al., 2008).

Tabel 3. Perbandingan perolehan (*yield*) biodiesel dari mikroalga dibandingkan dengan jenis tanaman lainnya

No.	Jenis tanaman	Produktivitas (L/ha)	Perbandingan kebutuhan lahan
1	Jagung	172	342
2	Kedele	446	132
3	Kanola	1.190	50
4	Jatrofa (jarak pagar)	1.892	31
5	Kelapa	2.689	22
6	Kelapa sawit	5.950	10
7	Mikroalga: - Kadar minyak/lemak 70% - Kadar minyak/lemak 30%	 136.900 58.700	 0,4 1

Sumber: Modifikasi dari Chisti (2007) dan Gheynst (2008)

3.4. Sludge

Dalam pengolahan limbah cair secara biologis, bahan organik terlarut dan tersuspensi dikonversi menjadi air, karbon dioksida, nitrat, fosfat dan biomassa (biosolid/sludge) yang relatif mudah dipisahkan dari fase cairnya. Dengan demikian, sebagai residu pengolahan limbah cair adalah sludge. Sludge terdiri atas sel-sel mikroorganisme yang terdiri atas nitrogen, fosfor, potasium, seng dan tembaga. Kandungan nutrien sludge bervariasi tergantung pada jenis limbah cair yang diolah. Belum tersedia secara rinci informasi tentang karakteristik sludge dari limbah cair agroindustri. Sebagai ilustrasi, sludge dari limbah cair domestik mengandung nutrien sekitar 30% N, 23% P dan 3% K (Muse, Mitchell, and Millins, 1991).

Nitrogen dan fosfor dalam sludge berada dalam bentuk organik dan tidak dapat langsung digunakan oleh tanaman. Jika diaplikasikan ke lahan pertanian, nitrogen organik akan dikonversi secara biologis dan gradual menjadi bentuk ammonium (NH_4^+) dan/atau nitrat (NO_3^-) terlebih dahulu baru dapat dimanfaatkan oleh tanaman secara gradual juga. Selain nutrien, sludge juga mengandung bahan organik yang dapat memperbaiki struktur dan karakteristik tanah. Bahan organik meningkatkan kemampuan tanah berpasir dalam mengikat air, dan meningkatkan pori-pori dan memperbaiki perpindahan udara dan airdi dalam tanah berlempung. Bahan organik juga memperbaiki retensi air, mempermudah penetrasi akar ke dalam tanah, serta mereduksi limpasan air dan erosi tanah. Sludge dari limbah cair agroindustri tidak mengandung logam berat atau bahan berbahaya lainnya dalam konsentrasi tinggi sebagaimana dikawatirkan pada sludge dari limbah cair domestik atau limbah cair industri non-agroindustri. Namun, sludge tidak dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai pupuk organik tetapi memerlukan pengolahan

terlebih dahulu sebelum dimanfaatkan sebagai pupuk, mencakup tahapan proses pemekatan, stabilisasi dan pengeringan (Suprihatin, 2004). Pengembangan yang masih diperlukan antara lain demo percontohan co-composting dan pengembangan metode aplikasi optimum untuk jenis tanaman tertentu.

3.5. Recycling Air

Selama dekade terakhir, berbagai jenis agroindustri terutama industri yang menggunakan banyak air, misalnya industri pulp, industri gula dan kertas dan industri minyak kelapa sawit, memberikan perhatian khusus untuk mereduksi penggunaan air bersih dalam pabrik, karena untuk industri ini biaya air penyediaan air dan pengolahan air limbah merupakan komponen biaya yang signifikan. Penggunaan ulang air limbah menjadi tuntutan yang semakin mendesak untuk industri ini. Penggunaan ulang secara keseluruhan tidak mungkin dilakukan tanpa pengolahan. Pembersihan air secara parsial juga tidak layak, karena akan terjadi akumulasi bahan terlarut dalam air. Oleh karena itu, untuk daur-ulang air dalam industri tersebut masih memerlukan metode pengolahan air yang lebih efisien. Salah satu alternatif pengolahan limbah cair lanjut untuk tujuan daur ulang air adalah penerapan teknologi membran. Baik membran ultrafiltrasi maupun mikrofiltrasi mampu mengeliminasi secara total berbagai jenis polutan tersuspensi dan menghasilkan permeat yang memungkinkan untuk didaur-ulang untuk berbagai tujuan sehingga pemakaian air per unit produk dapat direduksi.

4. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Berbagai bahan dari limbah cair agroindustri seperti minyak/lemak, bahan organik, nutrien, sludge dan air, dapat dimanfaatkan dengan menggunakan teknologi yang sesuai. Pengambilan minyak dari limbah cair agroindustri dapat memberikan manfaatkan ekonomi dan lingkungan berupa Reduksi organik (≈ 2,54 kg COD/kg minyak) dan pencegahan emisi GRK. Pengolahan limbah cair dengan bioreaktor anaerobik dapat digunakan sebagai solusi masalah lingkungan agroindustri, karena selain tidak membutuhkan biaya investasi dan operasional tinggi juga dapat menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Hal ini juga dapat memberikan manfaat ekonomi dan ekologi, seperti reduksi masalah lokal (pencemaran tanah, air dan udara/bau busuk) juga memberikan dampak global (reduksi emisi GRK dan pengurangan laju pemakaian kayu bakar. Penggunaan mikroalga dalam pengolahan limbah cair untuk eliminasi nutrien berpotensi memberikan berbagai manfaat yaitu pencegahan eutrofikasi dan biomassa berupa mikroalga yang memiliki nilai ekonomi. Biomass mengandung berbagai bahan bernilai ekonomi, misalnya protein, gliserol, pigmen, enzyme, asam-asam

amino, antibiotik dan pupuk organik. Kultivasi mikroalga juga berkotribusi terhadap reduksi emisi GRK dan merupakan sumber energi alternatif yang prospektif, jika biomassa mikroalga dikonversi menjadi biodiesel. Sludge dari limbah cair agroindustri dapat dimanfaatkan sebagai pupuk tanpa ada kekawatiran kandungan logam berat atau bahan berbahaya lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Avagyan, A. 2007. Global prospects for microalgae production for biofuels and for the preservation of nature. Global Fluels Magazine February 2008, pp. 22-27

Bhamidimirri, S. M. R. 1991. Appropriate industrial waste management technologies: The New Zealand meat industry. Wat. Sci. Tech. Vol. 24 (1), pp. 89-95

Boenke, B., Bischofberger, W. und Seyfried, C.F. 1993. Anaerobitechnik. Springer-Verlag, Berlin

Brune, D.E., H.W. Yen, G. Schwarz, J.R. Banemann, M.J. Massingil, J.C. Van Olst, J.A. Carlberg. 2008. The controlled Eutrophication; Microalgae for Biofuels Production and Fertilizer Recycling at the Salton Sea, California. Jurnal online, www.netl.doe.gov/publications/proceeding/03/carbon-seq/pdfs/034.pdf. Diakses tanggal 13 Oktober 2008

Chang, L. J., Yang, P. Y., and Whalen, S. A. 1990. Management of sugarcane mill wastewater in Hawai. Wat. Sci. Tech. Vol. 22 (9), pp. 131-140

Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25 (2007), pp. 294-306

Geisse, S,-U. 2008. Wertstoffgewinnung aus Abwasser. Department of Environmental Process Engineering, TU Berlin

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

Hutzler, N. 2004. Solid Waste Management. Lecture Notes onlinewww.cee.mtu.edu/~hutzler/ce3503/Solid Waste Managementnjh.ppt. Diakses tanggal 3 Agustus 2008

Lim, K.-H., Hasyim, T.M., Zakaria, Z.Z., Singh, G. and Linm, C.-H. 1999. Land application of Palm oil mill effluent. In Singh, G. et al. (eds.). Oil Palm and the Environment. Malaysian oil Palm Growers Council.

Miller, J.D., Hupka, J., Niewiadomski, M., Flores-Baez, B. and Morse, M. 2008. Advanced Wastewater Treatment For The Fish Processing Industries. Project Report. Near Ensenada, Baja California, California. North Carolina State University, Carolina

Moletta, R. 2005. Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion. Wat. Sci. Techn. Vol. 51, no. 1, pp. 137-144

Muse, J. K., Mitschell, C. C., and Mullins, G. L. 1991. Land application of sludge. Environmental education Series: Environmental Qualirty, Agriculture and Natural Resources. Extension Environmental Education, Auburn University.

Porteous, A. 1992. Dictionary of Environmental Science and Technology, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York

Purnomo, H. Adan Adiono. 1987. Ilmu Pangan (Terjemahan). Penerbit Universitas Indonesia (UI Press), Jakarta

Qureshi, N., B.X. Annous, T.C. Ezeji, P. Karcher and I.S. Maddox. 2005. Biofilm reactor for industrial bioconversion processes: Employing potential of enhanced reaction rates. Artikel online, tersedia di: http://www.microbialcellfactories.com/content/4/I/24. Diakses pada tanggal 17 September 2008

Rincke, G. and Rieger, G. 1980. Erhebungen zu Schlammengen und - bescgaffenheit. Abwasser Korrespondenz 2 (27), pp. 91-95

Roedinger, M. dan Kapp, H. 1990. Anaerobe alkalische Schlammfauling. 4. Aufl. R. Oldenbourg, Muenschen

Suprihatin. 2004. Possibilities and limitations of land applications of agroindustrial effluent and sludge. Proceedings of International Seminar on Advanced Agricultural Engineering and Farm Work Operation Bogor, 25-26 August 2004, pp. 539-547

Tay, J.-H. 1990. Biological treatment of soya beam waste. Wat. Sci. Tech. Vol. 22 (9), pp. 141- 147

Zemke, P., B. Wood and D. Dye. 2008. Technoeconomic analysis of algal production for oil production. Sustainable Energy Research, Utah University. Tersedia di www.nrel.gov/biomass/pdfs/zemke.pdf. Diakses tanggal 13 Oktober 2008

Fotoelektroda Nanokristal TiO_2 Termodifikasi ZnO untuk Aplikasi Sel Surya Tersensitisasi Dye dengan Elektrolit Konduktor Hole CuSCN

Akhiruddin Maddu, Fuady Mourad, Setyanto Tri Wahyudi dan Mersi Kurniati

Bagian Biofisika, Departemen Fisika FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
Telp/Fax:0251-625728
akhirmaddu@ipb.ac.id

Abstrak

Telah dipabrikasi sel surya tersensitisasi dye menggunakan fotoelektroda nanokristal TiO_2 termodifikasi ZnO dan konduktor hole p-CuSCN sebagai elektrolit. Sel surya dibentuk dalam struktur sandwich, dimana dua elektroda mengapit lapisan TiO_2 termodifiksi ZnO yang tersensitisasi dye serta lapisan konduktor hole p-CuSCN. Lapisan TiO_2 dideposisi pada substrat kaca berlapis bahan TCO (transparent conducting oxide) kemudian ZnO dielektrodeposisi diatas elektroda TiO_2. Elektroda TiO_2 termodifikasi ZnO direndam di dalam dye Ruthenium kompleks, selanjutnya CuSCN diteteskan diatasnya kemudian ditutup dengan elektroda *counter* dari kaca TCO berlapis katalis karbon. Luas permukaan aktif sel surya adalah 3 cm^2. Untuk melihat performanya, sel surya diuji pada sumbercahaya matahari lansung dengan intensitas 36 mW/cm^2. Sel surya diuji sebanyak tiga kali yaitu pada hari-1, hari-3 dan hari-5. Secara umum sel surya mengalami degradasi terhadap waktu, khasusnya nilai arus dan daya keluaran serta efisiensi konversi menurun sejak pertamakali dibuat. Namun nilai tegangan keluaran justru meningkat terhadap waktu, khususnya nilai arus rangkaian buka (V_{oc}).

Kata Kunci: Sel surya tersensitisasi dye, Nanokristal TiO_2 termodifikasi ZnO, CuSCN

1. PENDAHULUAN

Sel surya tersensitisasi dye pertama kali dikembangkan oleh Gratzel dkk pada 1991, sehingga disebut juga sel Gratzel. Sistem sel surya ini mengadopsi proses fotosintesis pada tumbuhan dimana klorofil berperan sebagai penangkap cahaya yang membangkitkan elektron (Smestad and Gratzel 1998). Sel surya nanokristal semikonduktor TiO_2 tersensitisasi dye dikembangkan sebagai konsep alternatif bagi piranti fotovoltaik konvensional, yaitu sel surya silikon. Efisiensi konversi yang dihasilkan dari sel surya TiO_2 tersensitisasi dye telah mencapai 10-11% (Schmidt-Mende and Gratzel 2006; Chiba *et al.* 2006). Beberapa keuntungan sistem sel surya ini adalah proses pabrikasinya lebih mudah dan sederhana tanpa menggunakan peralatan canggih dan mahal sehingga dapat ditekan biaya pembuatannya, disamping itu bahan dasarnya (yaitu TiO_2) mudah diperoleh dan relatif murah

(Hao *et al*. 2004; Huang *et al*. 2007; de Freitas *et al*. 2006). Namun, sel surya ini memiliki kelemahan yaitu stabilitas yang rendah dibandingkan sel surya silikon, hal ini karena sistem sel surya ini menggunakan elektrolit cair yang mudah degradasi dan bocor (Huang *et al*. 2007; Jeong *et al*. 2004).

Sel surya TiO_2 tersensitisasi dye terdiri dari lapisan nanokristal TiO_2 berpori sebagai fotoelektroda (fotoanoda), dye sebagai sensitizer bagi elektroda TiO_2, elektrolit redoks dan elektroda lawan (katoda) platina (Pt) atau karbon (Li *et al*. 2006). Struktur sel surya tersensitisasi dye berbentuk struktur *sandwich*, dimana kedua elektroda mengapit elektrolit. Berbeda dengan sel surya *p-n* silikon, pada sel surya tersensitisasi dye cahaya (foton) diserap oleh dye yang melekat (attached) pada permukaan partikel TiO_2 dan membangkitkan elektron ketika menyerap cahaya, mirip dengan fungsi klorofil pada proses fotosintesis tumbuhan. Pada fotosintesis, elektron-elektron yang dibangkitkan menginisiasi reaksi kimia yang merubah karbondioksida dan air menjadi energi kimia sebagai sumber energi bagi tumbuhan, sedangkan pada sel surya tersensitisasi dye elektron-elektron yang dibangkitkan ditransfer ke partikel semikonduktor TiO_2 sebagai akseptor kolektor elektron yang selanjutnya dialirkan ke rangkaian luar yang menghasilkan daya listrik (Smestad and Gratzel 1998).

Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya nanokristal tersensitisasi *dye* berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor (TiO_2) dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks (I^-/I_3^-). Sedangkan arus yang dihasilkan dari sel surya ini terkait langsung dengan jumlah cahaya (foton) yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja *dye* (Smestad and Gratzel 1998).

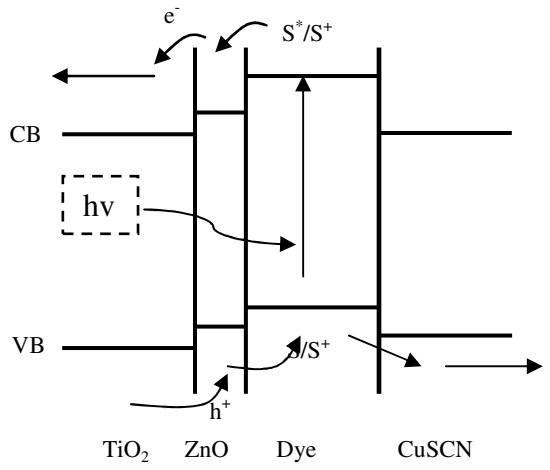
Kelemahan sistem sel surya tersensitisasi dye adalah stabilitasnya yang rendah akibat penggunaan elektrolit cair yang mudah degradasi dan bocor. Untuk memperbaiki kelemahan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan elektrolit padat sebagai pengganti elektrolit cair, misalnya elektrolit berbasis polimer yang mengandung kopel redoks (Huang et al. 2007; de Freitas *et al*. 2006); Jeong *et al*. 2004; Joseph *et al*. 2006; Wang *et al*. 2004) atau berbasis bahan konduktor *hole* seperti CuI dan CuSCN (Schmidt-Mende and Gratzel 2006; Lancelle-Beltran *et al*. 2005; Senadeera *et al*. 2006). Dalam penelitian ini digunakan bahan konduktor hole p-CuSCN sebagai eletrolit padat, yang merupakan bahan semikonduktor tipe-p dengan pembawa mayoritas hole (muatan positif).

Sedangkan untuk mengoptimalkan proses transfer dan pemisahan muatan di dalam piranti sel surya dilakukan modifikasi elektroda nanokristal TiO_2, misalnya dengan melapisi partikel TiO_2 dengan oksida-oksida lain yang memiliki celah pita energi lebih lebar seperti

SiO_2 (Nguyen *et al*. 2007), Al_2O_3 (Zhang *et al*. 2003) atau $CaCO_3$ (Lee *et al*. 2003). Hal ini juga bertujuan meningkatkan luas permukaan elektroda nanokristal TiO_2 sehingga lebih banyak molekul dye yang dapat teradsorpsi di dalam elektroda (Kang et al. 2007). Dalam penelitian ini digunakan bahan ZnO dengan celah energi 3,5 eV untuk memodifikasi elektroda nanokristal TiO_2. Struktur pita-pita energi pada sistem sel surya dan mekanisme transfer muatan yang dibangkitkan oleh foton dari dye ditunjukkan pada Gambar 1.

Prinsip kerja sel surya tersensitisasi dengan fotoelektroda nanokristal TiO_2 termodifikasi ZnO dan elektroda konduktor hole *p*-CuSCN dijelaskan sebagai berikut. Ketika sel surya disinari dari sisi fotoelektroda TiO_2, foton dengan energi (*hv*) lebih besar dari celah energi dye, diserap dan mengeksitasi dye dari level energi dasar S_o(HOMO, Highest Occupied Molecular Orbital) ke level energi eksitasi S^*(LUMO, Lowest Unoccupied Molecular Orbital) selanjuntnya elektron-elektron diinjeksikan ke pita konduksi ZnO kemudian diinjeksikan ke pita konduksi TiO_2. Injeksi elektron dari dye ke pita konduksi ZnO dapat terjadi disebabkan oleh posisi level energi eksitasi S^*(LUMO) yang berada lebih tinggi dari pita konduksi ZnO maupun pita konduksi TiO_2.

Sebaliknya hole-hole dari level energi S_o(HOMO) dye akan diinjeksikan ke pita valensi pada p-CuSCN yang selanjutnya ditransfer ke elektroda lawan. Injeksi hole dari dye ke pita valensi dari p-CuSCN dapat terjadi karena level energi S_o(HOMO) dye terletak lebih rendah daripada posisi pita valensi dari p-CuSCN. Kemudian elektron-elektron yang telah diinjeksikan ke pita konduksi TiO_2 tadi akan mengalir ke rangkaian luar melalui kontak arus (substrat kaca TCO) dan kembali berekombinasi dengan hole-hole pada sisi CuSCN melewati elektroda lawan.



Gambar 1. Modifikasi fotoelektroda TiO_2 dengan ZnO

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bubuk nanokristal TiO_2 (Degussa P25), Zinc asetat dihydrate ($Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$) (Merck), acetylacetone (Merck), Triton X-100 (Merck), akuades, acetonitrile (Merck), CuSCN, Dye Ruthenium $5x10^{-4}$ M (Solaronix), 2-Propanol, *Adhesive tape (*Scotch). Sedangkan peralatan yang digunakan adalah Mikrovoltmeter digital, Amperemeter digital, gelas ukur, batang gelas (glass rod)*, Hotplate Magnetic stirrer, Furnace*, Termometer digital, Lampu Merkuri 400 watt, XRD XD-610 SHIMADZU, Spektrophotometer UV-VIS, *Power supply*, dan Neraca digital.

2.2. Pembuatan Elektroda Tersensitisasi dye

Pertama-tama 0,5 g bubuk TiO_2 nanokristal (Degussa P25) ditempatkan ke dalam mortar kemudian ditambahkan 0,5 ml asetil aseton dan satu tetes Triton X-100, sambil digerus secara perlahan hingga rata dan membentuk pasta. Substrat kaca berlapis bahan TCO (transparent conducting oxide) direndam dengan etanol selama sepuluh menit kemudian dibilas dengan akuades. Substrat selanjutnya dikeringkan dan dibuat pola*,* yaitu luas 2 cm x 1,5 cm di atas permukaan substrat dikosongkan dan selebihnya ditutupi dengan selotip *Scotch*. Pasta tadi dideposisikan pada bagian permukaan substrat yang kosong dengan teknik penyapuan (*casting*) menggunakan batangan gelas hingga rata. Setelah *casting*, film TiO_2 didiamkan sekitar sepuluh menit hingga mengering. Film TiO_2 kemudian dipanaskan pada suhu 100^0C selama satu jam pada *hot plate* kemudian didinginkan pada suhu ruang.

Setelah didinginkan, film TiO_2 dilapisi ZnO dengan metode elektrodeposisi di dalam larutan yang mengandung 0,1 M $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$. Pada proses ini kaca TCO berlapis TiO_2 sebagai *working electrode* dihubungkan dengan elektroda Platina (Pt) sebagai *counter electrode*. Kemudian diberikan tegangan 7,0 Volt selama 1 menit hingga terbentuk lapisan ZnO diatas permukaan TiO_2. Fotoelektroda TiO_2 termodifikasi ZnO dikeringkan pada suhu ruang kemudian direndam dengan larutan dye *Rhutenium* 535 di tempat kedap cahaya selama 12 jam. Setelah proses perendaman (staining) selesai, substrat dibilas dengan akuades dan dikeringkan.

2.3. Pembentukan Prototipe Sel Surya

Mula-mula 50 ml asetonitril dicampur dengan 0,1 ml HCl 45%. Kemudian diambil 12 ml dari larutan tersebut dan dimasukkan 0,025 gram bubuk CuSCN sehingga terbentuk larutan CuSCN. Larutan CuSCN diteteskan diatas elektroda TiO_2 tersensitisasi dye sebanyak 4 tetes sambil dipanaskan pada suhu 120°C. Elektroda *counter* berupa substrat kaca konduktif berlapis bahan TCO, permukaan konduktifnya dilapisi dengan karbon pensil 2B atau dengan menggunakan serata mungkin. Kedua elektroda digabungkan secara berhadapan sehingga membentuk struktur *sandwich*. Agar menyatu dengan baik digunakan penjepit kertas.

2.4. Pengukuran Karakteristik Sel Surya

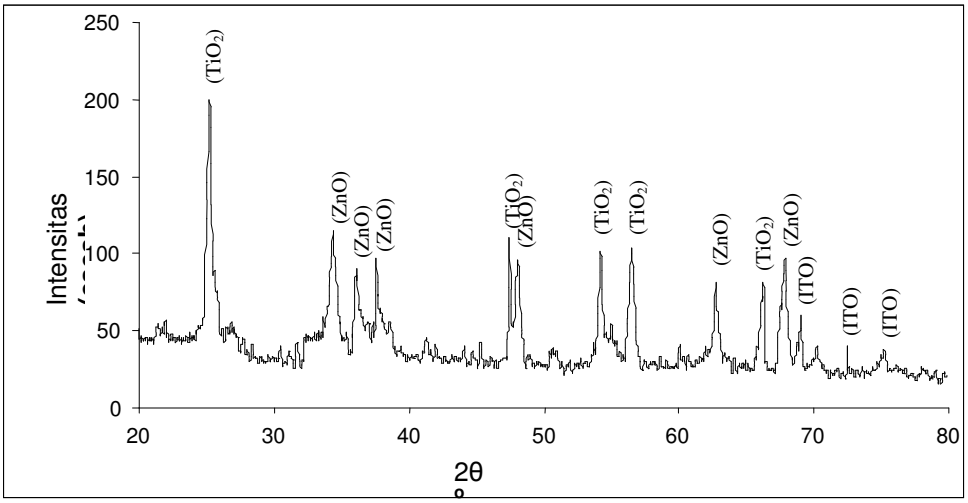
Pengukuran arus-tegangan sel surya dilakukan untuk menentukan parameter sel surya. Parameter-parameter tersebut merupakan representasi performa sel surya. Hasil pengukuran ini memberikan hubungan arus-tegangan yang dibuat kurva untuk menentukan parameter sel surya meliputi tegangan buka (V_{oc}), arus rangkaian pendek (I_{sc}), daya keluaran maksimum (I_{max}), faktor pengisian (fill factor) dan efisiensi konversi. Pengukuran arus-tegangan dilakukan dengan cahaya matahari langsung pada pukul 11.00-12.00 dengan intensitas 36 mW/cm^2. Luas aktif surya adalah 3 cm^2 dihadapkan tegak lurus arah datang cahaya matahari.

3. HASIL

3.1. Analisis XRD Elektroda TiO_2 Termodifikasi ZnO

Sebelum dipabrikasi menjadi sel surya, elektroda TiO_2 termodifikasi ZnO dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X (XRD) untuk mengetahui struktur dan ukuran kristal. Pola difraksi atau difraktogram yang diperoleh teridentifikasi puncak-puncak karakteristik TiO_2 dan ZnO. Karakterisasi XRD dilakukan di PTBIN Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Serpong, Tanggerang. Sampel dikarakterisasi menggunakan alat XD-610 SHIMADZU dengan sumber Cu pada tegangan 30kV dan arus 30 mA.

Hasil karakterisasi XRD elektroda TiO_2 termodifikasi ZnO diperlihatkan dalam bentuk difraktogram pada Gambar 2, yang memperlihatkan puncak-puncak karakteristik TiO_2, ZnO dan substrat ITO. Tampak pada difraktogram puncak-puncak karakteritik TiO_2 pada sudut 2θ = 25,20; 37,61; 38,01; 54,21 dan 62,69. Sedangkan puncak-puncak karakteristik ZnO juga muncul yaitu pada pada 2θ = 31,73; 34,37; 36,21; 47,47; 56,53 dan 66,29. Dari puncak-puncak yang muncul pada difraktogram menunjukkan bahwa komposit TiO_2-ZnO telah terbentuk.

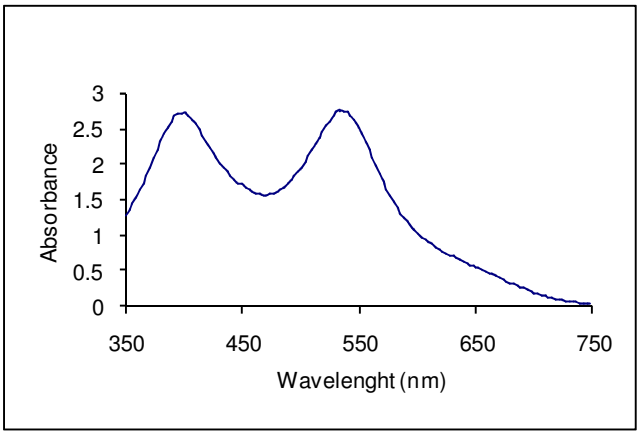


Gambar 2. Difraktogram elektroda TiO_2 termodifikasi ZnO

Berdasarkan pola difraksi juga dapat ditentukan ukuran kristal (crystal size) TiO_2 maupun ZnO berdasarkan nilai FWHM pada setiap puncak karakteristik. Penentuan ukuran kristal menggunakan persamaan Scherrer,

$$\sigma = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos\theta}$$

dimana σ adalah ukuran kristalit λ=1.5604 Å adalah panjang gelombang sinar-X-ray menggunakan sumber Cu K_α, β adalah peak full-width at half-maximum (FWHM), dan θ adalah sudut difraksi. Hasil perhitungan setiap puncak memberikan ukuran kristal rata-rata untuk TiO_2 sebesar 11,3 nm dan ZnO sebesar 27,8 nm. Nilai ukuran kristal ini menunjukkan nanoskristal TiO_2 dan ZnO telah terbentuk.



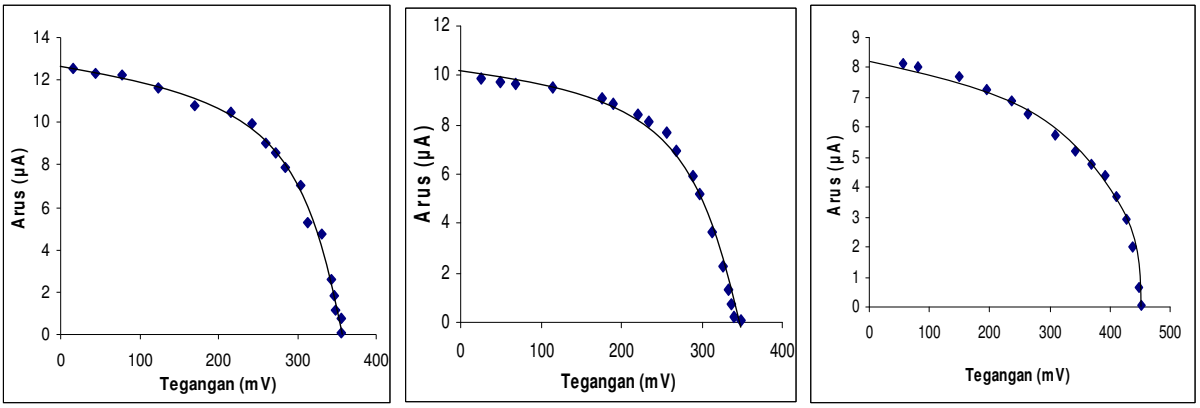
Gambar 3. Spektrum absorbans dye kompleks Ruthenium

3.2. Karakteristik Absorpsi dye Ruthenium kompleks

Sebelum digunakan sebagai sensitizer, dye Ruthenium 535 (Solaronix, Switzerland), terlebih dahulu diuji spektrum absorpsinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Absorbansi diukur pada rentang panjang gelombang 350 nm – 750 nm. Spektrum absorbans larutan dye dengan konsentrasi $5x10^{-4}$ M di dalam etanol menunjukan dua pita spesifik, yaitu pita biru dengan puncak maksimum pada sekitar 400 nm dan pita hijau dengan maksimum pada sekitar 535 nm, seperti pada Gambar 3. Tampak bahaya kedua pita absorpsi memiliki bentuk dan lebar hampir sama yang menyatakan bahwa dye memiliki dua level transisi yang berbeda dengan selisih energi berbeda. Dengan dua pita absorpsi yang lebar dapat menghasilkan penyerapan foton yang lebih banyak sehingga meningkatkan efisiensi konversi sel surya. Semakin lebar spektra absorpsi *dye*, maka semakin banyak frekuensi cahaya yang dapat diserap oleh sel surya. Nilai efisiensi konversi sel surya juga bergantung pada panjang gelombang cahaya terabsorpsi. Kedua pita absorpsi dye berada dalam rentang cahaya tampak sebagai daerah kerja sel surya.

3.3. Karakteristik Sel Surya

Hasil karakterisasi arus-tegangan sel surya ditunjukkan pada Gambar 4. Prototipe sel surya diuji dengan sumber cahaya matahari langsung pada hari-1, hari-2 dan hari-5 sejak pembuatan dengan tujuan untuk mengetahui stabilitas sel surya. Kurva-kurva yang diperoleh menunjukkan pola yang cukup ideal seperti ditunjukkan oleh kelengkungan kurva yang cukup signifikan. Tidak ada perbedaan signifikan pada bentuk ketiga kurva arus-tegangan ini. Namun terdapat beberapa perbedaan nilai parameter sel surya yang dapat diketahui langsung pada kurva arus-tegangan dan dirangkum pada Tabel 1.



Gambar 4. Kurva arus-tegangan sel surya pada hari-1, hari-3 dan hari-5

Dari kurva arus-tegangan (I-V) dapat ditentukan parameter-parameter keluaran sel surya, yaitu arus rangkaian pendek (I_{SC}), tegangan rangkaian buka (V_{OC}), arus maksimum (I_{max}), tegangan maksimum (V_{max}), daya maksimum (P_{max}), *fill factor* (FF) dan efisiensi konversi (η). Efisiensi konversi sel surya dihitung menurut hubungan

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} x100 \ \%$$

dimana P_{max} adalah daya maksimum yang dihasilkan sel surya dan P_{in} adalah daya sumber cahaya yang digunakan. Daya maksimum diberikan oleh hubungan

$$P_{\max} = V_{\max} I_{\max} = V_{OC} . I_{SC} . FF$$

dengan fill factor (FF) diberikan oleh

$$FF = \frac{V_{\max} \ I_{\max}}{V_{OC} \ I_{SC}}$$

Berdasarkan kurva karakteristik arus-tegangan (I-V) sel surya diperoleh parameter-parameter keluaran sel surya seperti dirangkum di dalam Tabel 1, masing-masing untuk waktu pengukuran hari-1, hari-3 dan hari-5. Terdapat perbedaan nilai parameter sel surya yang diukur pada tiga waktu berbeda. Secara umum performa sel surya pada hari-1 lebih baik daripada hari-3 dan-5, terutama pada nilai arus tegangan pendek (Isc) dan arus maksimum (Imax), masing-masing adalah 12,57 µA dan 9,95 µA. Tingginya arus-arus yang dihasilkan sel surya pada hari-1 menghasilkn efesiensi sel surya pada hari-1 lebih tinggi dibandingkan pada hari- dan hari-4. Hal ini diakibatkan dye masih bekerja efektif pada hari-1, dan mengalami degradasi seiring waktu.

Tabel 1. Parameter sel surya pada hari-1, hari-3 dan hari-5

Parameter	Hari ke-		
	1	3	5
I_{sc} (µA)	12,57	10,1	8,2
V_{oc} (mV)	357	350	454
I_{max} (µA)	9,95	7,66	6,45
V_{max} (mV)	242	256	263
P_{max} (mW)	2,41	2,00	1,70
Fill factor	0,54	0,55	0,30
Efisiensi(%)	$2,7x10^{-2}$	$2,2x10^{-2}$	$1,9x10^{-2}$

Pada pihak lain, nilai tegangan maksimum justru semakin meningkat seiring bertambahnya usia sel surya. Bahkan nilai tegangan buka (V_{oc}) pada hari-5 sangat tinggi, jauh melebihi hari-hari sebelumnya yaitu V_{oc}=454 mV. Hal ini menandakan semakin lama,

elektrolit bekerja semakin efektif. Juga, nilai faktor pengisian (fill factor) sel surya justru lebih tinggi pada hari-3, yang bersesuaian dengan bentuk kurva arus-tegangan yang paling ideal diantara ketiga kurva. Namun demikian secara keseluruhan sel surya mengalami degradasi, yaitu mengalami penurunan efisiensi konversi yang cukup signifikan terhadap waktu.

4. PEMBAHASAN

Sel surya tersensitisasi dye yang dibuat menggunakan fotoelektroda TiO_2 termodifikasi ZnO dan elektrolit bahan konduktor hole CuSCN memperlihatkan fenomena konversi energi cahaya menjadi energi listrik secara langsung. Tegangan yang dihasilkan cukup signifikan (~400 mV), namun arus keluarannya masih kecil (~12 mA) sehingga daya maksimumnya juga kecil. Hasilnya, efisiensi sel surya juga masih kecil. Sel surya mengalamai degradasi menurun terhadap waktu.

Bagaimanapun parameter-parameter sel surya yang dihasilkan masih rendah, khususnya arus keluaran yang masih dalam orde belasan mikroampere (µA) yang berakibat rendahnya daya keluaran maksimum (P_{max}). Disamping itu nilai *fill factor* (ff) juga masih rendah. Kedua hal ini sangat menentukan nilai efisiensi konversi yang masih rendah.

Berbagai faktor yang mempengaruhi rendahnya performa sel surya, diantaranya jumlah dye yang tereksitasi, proses transfer elektron, nilai hambatan sel surya, kinerja elektrolit (konduktor hole, CuSCN) dan kontak arus. Kecilnya nilai arus misalnya, kemungkinan akibat kecilnya spesies dye yang tereksitasi karena keterbatasan absorpsi dye (pita absorpsinya sempit dan absorbansinya rendah). Selain itu, terbatasnya arus arus yang dihasilkan juga karena mekanisme transfer elektron dari dye tereksitasi ke TiO_2 tidak maksimal akibat adsorpsi dye pada permukaan TiO_2 yang kurang bagus dan rekombinasi prematur pada dye sendiri. Juga diperkirakan rekombinasi prematur terjadi pada lapisan TiO_2 yang tebalnya beberapa puluh mikrometer, jauh melebihi panjang difusi elektron di dalam TiO_2. Akibatnya, jumlah elektron yang terakumulasi pada substrat TCO juga kecil sehingga arus yang mengalir ke rangkaian luar kecil. Tegangan yang dihasilkan juga masih kecil diakibatkan kinerja elektrolit yang tidak maksimal, dalam hal ini menggunakan konduktor hole dari bahan semikonduktor CuSCN tipe-p.

Bentuk kurva arus-tegangan yang dihasilkan masih kurang ideal sehingga nilai *fill factor* juga rendah. Hal ini kemungkinan besar diakibatkan oleh nilai hambatan lapisan TiO_2 termodifikasi ZnO yang sangat besar sehingga mengurangi konduksi arus di dalam sel surya.

Nilai fill factor yang rendah ini juga mempengaruh kinerja sel surya, khususnya efisiensi konversinya.

DAFTAR PUSTAKA

Chiba Y, Islam A, Watanabe Y, Komiya R, Koide N, Han L. 2006. Dye-Sensitized Solar Cells with Conversion Efficiency of 11.1%. *Jpn. J. Appl. Phys*. 45 (25):L638-L640

De Freitas JN, Nogueira V, Ito BI, Soto-Oviedo MA, Longo C, De Paoli M-A, Nogueira AF. 2006. Dye-Sensitized Solar Cells and Solar Module Using Polymer Electrolytes: Stability and Performance Investigations. International Journal of Photoenergy 1-6

Hao S, Wu J, Fan L, Huang Y, Lin J, Wei Y. 2004. The influence of acid treatment of TiO2 porous film electrode on photoelectric performance of dye-sensitized solar cell, Solar Energy 76:745-750

Huang M, Yang H, Wu J, Lin J, Lan Z, Li P, Hao S, Han P, Jiang Q. 2007. Preparation of a novel polymer gel electrolyte based on N-methyl-quinoline iodide and its application in quasi-solid-state dye-sensitized solar cell. J Sol-Gel Tech. 42:65-70.

Jeong Y-B, Lee D-Y, Song J-S, Kim S-S, Sung Y-U, Kim D-W. 2004. A Solid-State Dye-Sensitized Solar Cell Constructed using a Gel Polymer Electrolyte. J. Ind. End. Chem. 10(4):499-503

Joseph J, Son KM, Vittal R, Lee W, Kim K-J. 2006. Quasi-solid-state dye-sensitized solar cells with siloxane PEG hybrid gel electrolyte, Semicond. Sci. Technol. 21:697-701

Kang SH, Kim J-Y, Kim Y-K, Sung Y-E. 2007. Effects of the incorporation of carbon powder into nanostructured TiO2 film for dye-sensitized solar cell, J. Photochem. Photobiol. A: Chem. 186:234-241

Lancelle-Beltran E, Prene P, Boscher C, Belleville P, Buvet P, Sanchez C. 2005. Advanced Materials 18(26):2579-2582.

Lee S, Kim JY, Hong KS, Jung HS, Lee J-K, Shin H. 2003. Enhancement of the photoelectric performance of dye-sensitized solar cells by using a CaCO3-coated TiO2 nanoparticle film as an electrode. Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 80(3):315-326

Li B, Wang L, Kang B, Wang P, Qiu Y. 2006. Review of recent progress in solid-state dye-sensitized solar cells. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 90:549-573

Nguyen T-V, Lee H-C, Khan MA, Yang O-B. 2007. Electrodeposition of TiO2/SiO2 nanocomposite for dye-sensitized solar cell. Solar Energy 81(4):529

Schmidt-Mende L, Gratzel M. 2006. TiO2 pore-filling and its effect on the efficiency of solid-state dye-sensitized solar cell. Thin Solid Films 500:296-301

Senadeera GKR, Kobayashi S, Kitamura T, Wada Y, Yanagida S. 2006. Versatile preparation method for mesoporous TiO2 electrodes suitable for solid-state dye sensitized photocells, Bull. Mater. Sci. 28(6):635-641

Smestad GP, Gratzel M. 1998. Demonstrating Electron and Nanotechnology: A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Energy Converter. Journal of Chemical Education 75:1-6.

Wang G, Zhou X, Li M, Zhang J, Kang J, Lin Y, Fang S, Xiao X. 2004. Gel polymer electrolytes based on polyacrylonitrile and a novel quaternary ammonium salt for dye-sensitized solar cells. Mater. Res. Bull. 39:2113-2118

Zhang X-T, Sutanto I, Taguchi T, Tokuhiro K, Meng G-B, Rao TN, Fujishima A, Watanabe H, Nakamori T, Uragami M. 2003. Al2O3-coated nanoporous TiO2 electrode for solid-state dye-sensitized solar cell. Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 80(3):315-326

Atomic Force Microscopy Nanoscale Study of Aluminum Thin Film on Si (100) Substrate

Irzaman[1], Z. Jamal[2], Norhayati Sabani[2]

[1]Division of Applied Physics, Department of Physics, FMIPA IPB,
Kampus IPB Darmaga Gedung Wing S Bogor, Indonesia – 16680
Email : irzaman@yahoo.com, irzaman@kukum.edu.my

[2]School of Microelectronic Engineering Univistity Malaysia Perlis
Jalan Bukit Lagi, 01000 Kangar Perlis, Malaysia.
Email :zulazhar@unimap.edu.my

Abstract

Aluminum thin films were successfully deposited on *p*-type Si (100) substrate. The thin films were fabricated using the thermal evaporation method at vacuum pressure in the range of 10^{-3} to 10^{-4} torr. The surface roughness and grain size of the grown thin films were characterized by atomic force microscope (AFM) method Model JEOL SPA300/400 at 3 different analysis area in nanoscale; 50 nm x 50 nm, 100 nm x 100 nm and 500 nm x 500 nm. The rms surface roughness of aluminum thin film at the analysis area of 50 nm x 50 nm; 100 nm x 100 nm and 500 nm x 500 nm are 13.90 nm, 35.70 nm, 43.25 nm, respectively, whereas the grain size (mean diameter) are 23.66 nm, 83.90 nm, 412.80 nm, respectively. The reform value of the nano rms surface roughness and nano grain size of aluminum films are possibly associated with the anti site defects of *p*-type Si (100) substrate.

Keywords : AFM, aluminum, thin film, grain size, surface roughness.

1. INTRODUCTION

Aluminum (Al) thin films are well known as dielectric materials and have been used as capacitors and high capacity of charge storage (Irzaman *et al*. 2003; Irzaman *et al*. 2006). Al films can be formed by various methods, such as thermal evaporation (Irzaman *et al*. 2003), and Pulsed Laser Ablation Deposition (PLAD) (Long *et al*. 2003).

The surface roughness and grain size of the grown thin films are characterized by atomic force microscope (AFM) method.

2. LITERATURE STUDY

Many applications of nanofabrication techniques now require the production of nanowires. The nanowires could be used in a near feature as components of technology to create electrical circuits out of compounds that are capable of being formed into extremely small circuit (electronic, opto-electronic and nanoelectromechanical devices and as leads for biomolecular nanosensors) (Nor *et al*. 2005). Instead of tunneling current,

AFM techniques are capable to detect the interatomic forces that occur between a cantilever probe tip and a sample. Normal imaging forces are in the 1 - 50 nanonewton range and cantilever deflections of less than 0.1 nm can be detected (nanoscale) (Long *et al*. 2003; Ratera *et al*. 2005; Dietzel *et al*. 205).

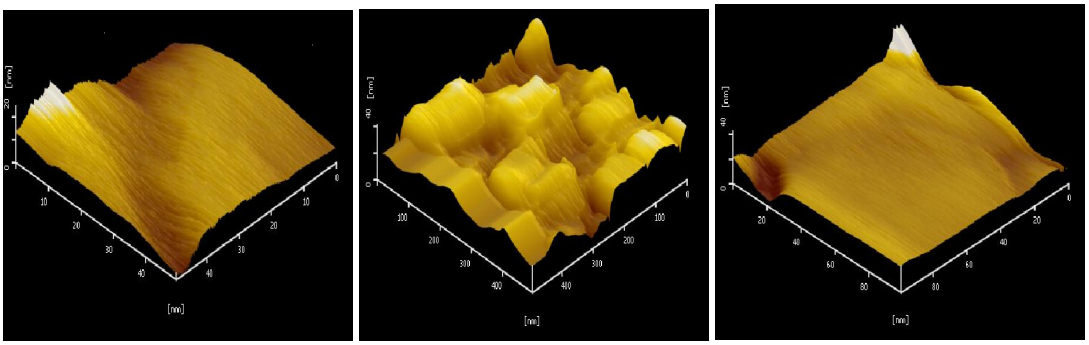
3. METODOLOGY

To fabricate Al thin films on *p*-type Si (100) substrate 2 x 2 mm^2 area using the thermal evaporation. The thin films were fabricated using the thermal evaporation method at vacuum pressure in the range of 10^{-3} to 10^{-4} torr. To investigate surface roughness and grain size of Al thin films on p-type Si (100) substrate using AFM Model JEOL SPA300/400.

The surface roughness and grain size of the grown thin films were characterized by atomic force microscope (AFM) method at 3 different analysis area in nanoscale; 50 nm x 50 nm, 100 nm x 100 nm and 500 nm x 500 nm.

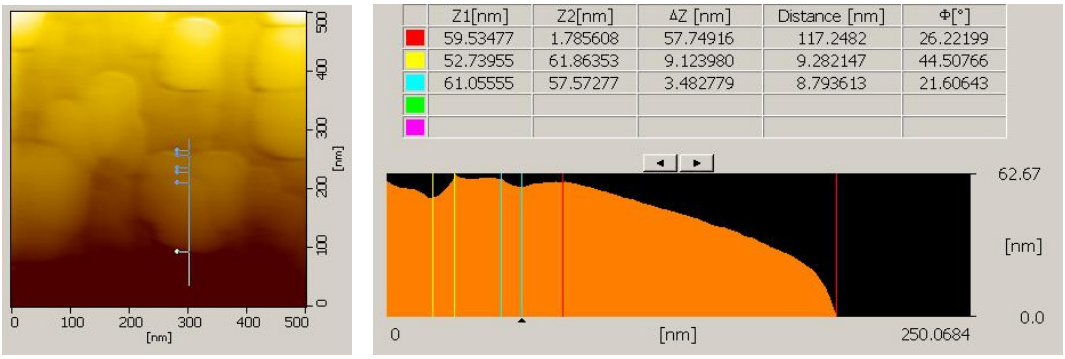
4. RESULTS AND DICUSSION

Aluminum thin films were successfully deposited on *p*-type Si (100) substrate. Fig. 1 shows 3-dimensional images using AFM method of Al thin films *p*-type Si (100) substrate. Fig. 2 - 4 show the 2-D and the analysis area of 500 nm x 500 nm; 100 nm x 100 nm and 50 nm x 50 nm the result of the surface roughness and mean diameter grain size of the samples. The rms surface roughness of aluminum thin film at the analysis area of 50 nm x 50 nm; 100 nm x 100 nm and 500 nm x 500 nm are 13.90 nm, 35.70 nm, 43.25 nm, respectively, whereas the grain size (mean diameter) are 23.66 nm, 83.90 nm, 412.80 nm, respectively. These results show that surface roughness and grain size of the thin film have strong correlation to the area. Observation indicates a homogenous surface obtained at 50 x 50 nm^2 area.



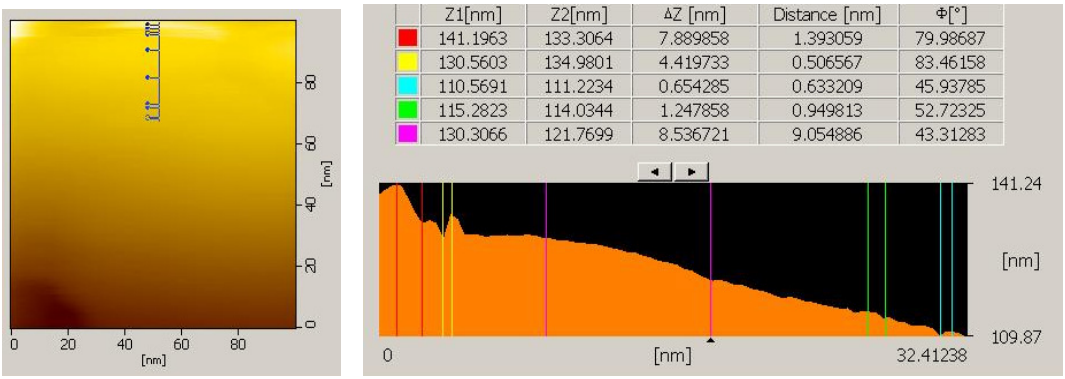
(a) **(b)** **(c)**

Fig. 1. The 3-D Images of Al thin films *p*-type Si (100) substrate at (a) 50 x 50 nm^2, (b) 100 x 100 nm^2, (c) 500 x 500 nm2 area.



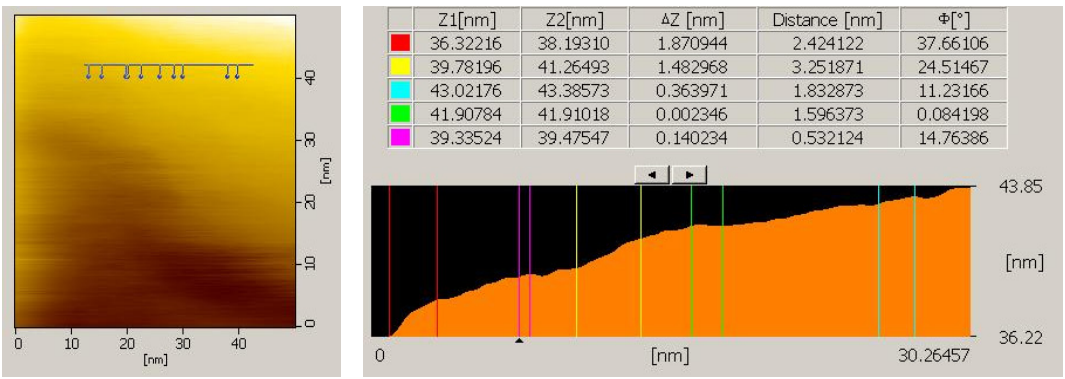
(a) (b)

Fig. 2. The 2-D Images of Al thin films n Si (100) substrate at
(a) 500 x 500 nm^2 area
(b) roughness surface and grain size analyzed



(a) (b)

Fig. 3. The 2-D Images of Al thin films n Si (100) substrate at
(a) 100 x 100 nm^2 area
(b) roughness surface and grain size analyzed



(a) (b)

Fig. 4. The 2-D Images of Al thin films n Si (100) substrate at
(a) 50 x 50 nm^2 area
(b) roughness surface and grain size analyzed

5. CONCLUSSION

The reform value of the nano rms surface roughness and nano grain size of aluminum (Al) films are possibly associated with the anti site defects of *p*-type Si (100) substrate. The physical characteristics AFM are suited for nanodevices and nanotechnology.

ACKNOWLEDMENT

This work was supported by Hibah Kompetensi 2008 Project, Depdiknas, The Republic of Indonesia and Short Term Research Grant from Kolej Universiti Kejuruteraan Utara Malaysia under contract No. KUKUM/R&D/9003-00030(1)/2005 and No. KUKUM/R&D/9001-00033.

REFERENCES

Dietzel D, Faucher M, Iaia A, PAim´e J, Marsaudon S, Bonnot AM, Bouchiat V, Couturier G. 2005. Analysis of mechanical properties of single wall carbon nanotubes fixed at a tip apex by atomic force microscopy. *Nanotechnology* 16:S73.

Irzaman, Darvina Y, Fuad A, Arifin P, Budiman M, Barmawi M. 2003. Physical and Pyroelectric Properties of Tantalum Oxide Doped Lead Zirconium Titanate Thin Films and Theirs Application for IR Sensor. *Physica Status Solidi (a)* 199(3):416**.**

Irzaman, Jusoh SN, Taking S, Jamal Z, Idris MA. Effect of Annealing Low Temperature for Growth Gallium Doped $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Ti_{O3}$ Thin Film and Surface Roughness and Grain size Characterization. *Abstract* AFSS UTM Johor Malaysia, June (2006).

Long BA, Jian SHU, Ping SAU, Zu-Hong LU. 2003: Mapping Nanoscale Domains in a Sol-Gel-Derived (Pb, La) (Zr, Ti)O_3 Thin Film. *Chin. Phys. Lett*. **20**(4):465.

Nor MNM, Hashim U, Rasmi A, Halim AHA. (2006). Proceedings ICSST Kustem Kuala Trengganu Malaysia.

Ratera I, Chen J, Murphy A, Ogletree DF, Fr´echet JMJ, Salmeron M. 2005. Atomic force microscopy nanotribology study of oligothiophene self-assembled films. *Nanotechnology* 16:S235.

SINTESIS DAN UJI AKTIVITAS ADSORPSI NANO-TUBULAR IMOGOLITE TERSUBSTITUSI Cu

Henny Purwaningsih[1], Erni Johan[2], Naoto Matsue[2], Teruo Henmi[2]

[1]Dept.Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Indonesia
[2]Fakultas Pertanian, Ehime University, Jepang

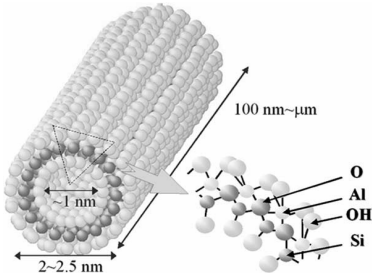
ABSTRAK

Modifikasi kimia dilakukan terhadap struktur nano-tubular Imogolite. Hasil karakterisasi menggunakan SEM menggambarkan terbentuknya morfologi nano-tubular pada Imogolite yang tersubstitusi Cu. Selain itu, difraktogram XRD menunjukkan adanya penurunan diameter struktur tubular pada Imogolite yang tersubstitusi. Hasil penentuan kapasitas tukar kation memberikan indikasi terdapat muatan negatif permanen yang timbul akibat pengaruh substitusi tersebut. Uji kemasaman permukaan menggunakan indikator Hammet pada berbagai variasi suhu dan kelembaban menunjukkan bahwa Imogolite yang tersubstitusi memiliki kemasaman permukaan yang lebih tinggi dibandingkan yang tanpa subsitusi. Kapasitas adsorpsi kedua contoh uji, yaitu Imogolite dan Imogolite yang tersubstitusi Cu, menunjukkan bahwa subsitusi tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap adsorpsi asetaldehida. Sementara itu, percobaan menggunakan irradiasi sinar UV pada Imogolite yang tersubstitusi Cu mengindikasikan adanya aktivitas fotokatalik.

Keywords: Nano-tubular Imogolite, Adsorben, Asetaldehida, VOCs

1. PENDAHULUAN

Imogolite pertama kali ditemukan oleh Yoshinaga dan Aomine pada tahun 1962 sebagai salah satu fraksi mineral liat di Jepang. Komposisi kimia Imogolite adalah $(OH)_3Al_2O_3SiOH$. Dinding tubularnya terdiri dari lembaran Gibbsite $Al(OH)_3$ dan anion ortosilikat anions (O_3SiOH groups). Gambar 1 menunjukkan struktur tubular dari nano-tubular Imogolite. Diameter luar tubular kira-kira 2-2.5 nm. Diameter dalamnya adalah 0.5–1.5 nm dan panjangnya beberapa mikron (Yamamoto *et al.* 2001).



Gambar 1. Struktur nano-tubular Imogolite

Akhir-akhir ini, penelitian Imogolite menjadi salah satu topik yang menarik khususnya dalam bidang Ilmu Material karena permukaannya yang luas dan morfologi nano-tubularnya yang unik. Imogolite dapat digunakan sebagai nanofiller, katalis, atau adsorben (Yamamoto *et al.* 2007). Untuk lebih meningkatkan aktivitasnya, modifikasi kimia terhadap struktur nano-tubularnya perlu dilakukan. Salah satu caranya adalah dengan melakukan substitusi isomorfis. Apabila substitusi terjadi maka diharapkan kemampuan adsorpsi dan aktivitas katalitiknya akan meningkat. Uji kapasitas adsorpsi dan aktivitas katalitik dalam penelitian ini dilakukan terhadap asetaldehida. Asetaldehida adalah salah satu senyawa organik volatil (VOCs) yang dapat dihasilkan melalui pembakaran seperti buangan asap kendaraan dan asap rokok. Saat ini, kontrol terhadap emisi VOCs sangat dibutuhkan untuk mencegah dan mereduksi polusi udara. Kajian ini merupakan kajian penduluan dalam mengevaluasi aktivitas Imogolite yang tersubstitusi oleh ion logam transisi untuk mendekomposisi VOCs

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Sintesis Imogolite Tersubstitusi Cu

Larutan asam ortosilikat disiapkan dari larutan natrium metasilikat yang dilewatkan pada resin Amberlite IR120BNA. Larutan $AlCl_3$ 0.2M dan $CuCl_2$ 0.2 M secara simultan dicampurkan dengan asam ortosilikat sehingga mencapai rasio molar Si/Al sebesar 0.5 dan Cu/(Cu+Al) sebesar 0-100. Kira-kira 900 mL campuran dititrasi dengan NaOH 0.1 M dan diaduk secara kontinu dengan kecepatan 0.5 mL min^{-1} sampai diperoleh rasio molar OH/Al sebesar 2.0. Campuran dilarutkan sampai 1 L, selanjutnya disebut larutan induk. Konsentrasi Si dari larutan induk diperoleh kurang dari 2 mM. Larutan induk dipanaskan pada 95-100°C selama 110 jam. Setelah didinginkan sampai suhu kamar, larutan diflokulasi dan disentrifugasi pada 6000 *g*. Gel yang terbentuk didialisis menggunakan membran dengan MWCO 3500. Sebagian dari gel dianalisis dengan XRD and SEM. Sisanya dikering-bekukan dan dipakai untuk tahap selanjutnya.

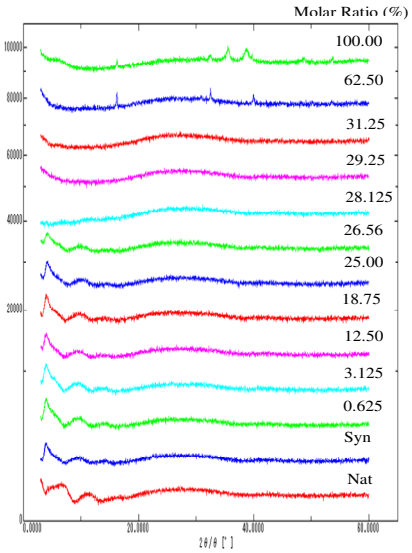
2.2. Adsorpsi asetaldehida

Suspensi yang mengandung 0.05 g contoh (Cu/(Cu+Al) = 0 dan 0.25 disebar di atas pelat gelas kemudian dikeringkan. Selanjutnya pelat gelas ditempatkan di dalam wadah reaksi dan dimasukkan ke dalam tempat yang telah dilengkapi dengan lampu UV (365 nm). Sebanyak 100 ppm asetaldehida dimasukkan ke dalam wadah reaksi sebagai konsentrasi awal.

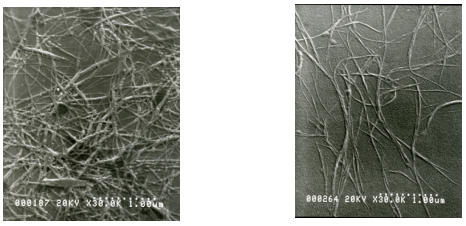
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

pH awal larutan induk (4.31-7.17) diukur sebelum larutan dipanaskan, sementara pH akhir larutan (2.99-6.16) diukur setelah larutan induk dipanaskan. Setelah pemanasan, pH larutan akan menurun. Menurut Henmi dan Huang (1985), selama proses pembentukan Imogolite dari proto-Imogolite maka pH akan menurun sampai ~ 3 dari pH awal sekitar 4. Hal ini disebabkan oleh reaksi yang terlibat dalam hidrolisis dan polimerisasi of $Al(H_2O)_6^{3+}$ serta adanya interaksi ion Al-hidroksi dengan asam ortosilikat. Penurunan pH larutan semakin kecil dengan meningkatnya rasio molar Cu/Cu+Al. Dalam hal ini, nampaknya keberadaan sebagian kation Cu dapat dikatakan mengganggu reaksi pembentukan Imogolite.

Hasil analisis dengan XRD (Gambar 2) menunjukkan bahwa Imogolite terbentuk pada rasio molar Cu/(Cu+Al) 0-0.28. Hasil ini juga didukung oleh pengamatan menggunakan SEM (Gambar 3). Analisis dengan XRD terdiri dari sejumlah refleksi yang bergeser ke nilai $d_{spacing}$ yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan Imogolite alami.



Gambar 2. Analisis XRD pada berbagai rasio



(a) (b)

Gambar 3. Foto SEM (a) Imogolite dan (b) Imogolite tersubstitusi Cu

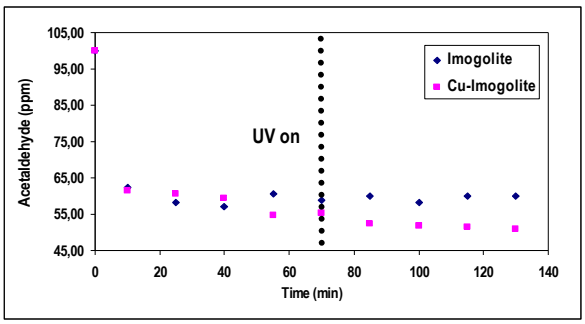
Diameter luar nano-tubular Imogolite diketahui dari hasil analisis XRD pada suhu 200°C, yaitu 26-23 Å. Diameter luar nano-tubular menurun dengan meningkatnya rasio molar Cu/Cu+Al.

Kapasitas tukar kation (CEC) ditentukan dengan mengukur jumlah retensi Na pada berbagai konsentrasi dan pH. Hasil yang diperoleh dari plot CEC vs pH–pNa menunjukkan bahwa nilai CEC menurun dengan menurunnya pH–pNa pada Imogolite, dan selanjutnya menjadi nol pada saat pH–pNa mendekati 2. Sementara itu, pada Imogolite yang tersubstitusi Cu, nilai CEC konstan pada pH–pNa antara 2 dan 5. Hal ini memberikan indikasi terbentuknya muatan negatif permanen akibat substitusi isomorfis Al oleh Cu.

Kemasaman permukaan diamati dengan metode menggunakan indikator Hammet. Hasil menunjukkan bahwa Imogolite yang tersubstitusi dengan Cu memiliki kemasaman permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Imogolite yang terbentuk tanpa substitusi Cu, khususnya pada kelembaban rendah.

Walaupun hasil analisis XRD dan SEM menunjukkan bahwa nano-tubular Imogolite terbentuk sampai rasio molar Cu/Cu+Al 0.28, akan tetapi kandungan Imogolite di dalam produk dengan rasio 0.28 terlalu sedikit sehingga contoh Imogolite tersubstitusi Cu yang digunakan untuk tahap adsorpsi asetaldehida menggunakan produk dengan rasio 0.25.

Uji kemampuan adsorpsi dengan asetaldehida menunjukkan bahwa konsentrasi asetaldehida menurun terhadap waktu pada kedua contoh uji, yaitu Imogolite dan Imogolite tersubstitusi Cu (Gambar 4). Hasil memberikan indikasi akan kemampuan adsorpsi kedua contoh terhadap asetaldehida, dan kemampuan adsorpsi ini nampaknya tidak dipengaruhi oleh substitusi Cu pada Imogolite. Sementara itu, irradiasi sinar UV yang dimulai pada menit ke-70 menunjukkan bahwa konsentrasi asetaldehida cenderung sedikit menurun dan kecenderungan ini tidak tampak pada contoh Imogolite yang tidak tersubstitusi oleh Cu. Hal ini mengindikasikan adanya aktivitas fotokatalitik dalam mendekomposisi asetaldehida dari Imogolite tersubstitusi Cu. Untuk membuktikan aktivitas fotokatalitik ini dibutuhkan penelitian lebih lanjut.



Gambar 4. Aktivitas Adsorpsi Asetaldehida

4. SIMPULAN DAN PROSPEK

Modifikasi kimia pada struktur nano-tubular Imogolite telah mengubah karakteristik permukaan nano-tubular Imogolite. Imogolite berpotensi untuk dijadikan adsorben VOCs. Selain itu, Imogolite tersubstitusi ion logam transisi memiliki potensi dalam mendekomposisi VOCs.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai sepenuhnya oleh Ehime University, Jepang dan ucapan Terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Teruo Henmi (Lab. of Applied Chemistry for Environmental Industry) atas semua fasilitas yang diberikan selama penelitian berlangsung (1 Agustus 2007-31 Juli 2008).

DAFTAR PUSTAKA

Henmi T dan Huang PM. 1987. Effect of phosphate anion on the formation of imogolite. *Proceeding of the International Clay Conference*, Denver 1985, 231-236.

Yamamoto K, Otsuka H, Wada SI, and Takahara A. 2001. Surface modification of aluminosilicate nanofiber “Imogolite” *Chemistry Letters.* 1162-1163

Yamamoto K, Otsuka H, dan Takahara A. 2007. Preparation of Novel Polymer Hybrids from Imogolite Nanofiber. *Polymer Journal*. 39: 1-5.

Yoshinaga, N, dan Aomine, S. 1962. Imogolite in some Ando soils. *Soil Sci. Plant Nutr*. **8**, 22–29

SYNTHESIS OF AMORPHOUS CALCIUM PHOSPHATE MADE OF EGGSHELL BY LOW TEMPERATURE-PRECIPITATION METHOD

K. Dahlan[1], A.N. Laeny[1], A. Maddu[1] and S. Giat[2]

[1]Departemen Fisika, Fakultas MIPA, IPB
[2]Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, BATAN

Abstract

Synthesis of amorphous calcium phosphate by low temperature-precipitation method from eggshell was carried out. The starting materials of amorphous calcium phosphate fabrication are ammonium hidrophosphate and calcinated eggshells. The calcination was performed at 1000°C for 5 hours to produce calcium oxide (CaO). Precipitation was performed at 5 ± 0.5°C with concentrations of ammonium hidrophosphate and calcium oxide solutions varied. The result of XRD (X-Ray Diffraction) characterization showed that sample with the least concentration precursor (sample A1) was the most amorphous calcium phosphate indicated by low intensity and crystallinity degree. The FTIR (Fourier Transform Infrared) data showed that the spectrum of sample A1 were smooth (not splitting) indicating the sample is amorphous. SEM (Scanning Electron Microscopy) characterization showed that surface morphology of amorphous calcium phosphate samples appears to be groups of spherical shape particles. Most elements of sample A1 were C, O, P and Ca as shown by EDXA (Energy Dispersive X-Ray Analysis).

Keywords: eggshell, amorphous calcium phosphate, precipitation, calcination.

1. INTRODUCTION

Bones are strong tissues functioning to move, support, and protect various organs of a body, producing red and white blood cells, and storing minerals like calcium and phosphate. The main compositions of bones are collagen (20%), calcium phosphate (69%) and water (11%). Another organic matter such as protein, polysaccharide and lipid are also present in small number.

Calcium phosphate in bones has two phases: amorphous and crystalline. Young bones are amorphous indicating that the bone is still growing.

Eggshells consisting of about 95% calcium carbonate ($CaCO_3$) is a source of calcium for bone substitution biomaterial. The remaining 5% includes calcium phosphate, magnesium carbonate and soluble and insoluble proteins. General eggshell structure, which varies widely among species, is a protein matrix lined with mineral crystals. Harder eggs are more mineralized than softer ones. Birds are known for their hard-shelled eggs, which is stabilized by a protein matrix. Without the protein, the crystal structure would be too brittle to keep its form. Standard bird eggshells are semipermeable membranes

filled with thousands of pores and covered with a cuticle helping the egg retains its water and keeps out bacteria.

Calcium carbonate, as the eggshell main ingredient, releases carbon dioxide on heating above 840°C, to form calcium oxide. This process is commonly called calcination.

$$CaCO_3 \xleftrightarrow{\Delta T} CaO + CO_2$$

The remaining magnesium carbonate, at 350°C, decomposes to magnesium oxide and carbon dioxide.

$$MgCO_3 \xrightarrow{\Delta T} MgO + CO_2$$

However, over the broad range of solution conditions in which precipitation occurs spontaneously, amorphous calcium phosphate precedes the formation of HAP. Apart from calcium and phosphate ions, other ions like CO_3^{2-}, HCO_3^-, and Mg^{2+} can also enter and disturb amorphous calcium phosphate structure (Banerjee et al 2006).

This research was aimed to synthesize calcium phosphate in amorphous phase using eggshell's calcium as the starting material. The synthesizing method was precipitation performed at 5 ± 0.5°C with concentrations of ammonium hidrophosphate and calcium oxide solutions varied while the ratio of Ca/P was kept at 1.67. The phosphate compound obtained was characterized using various method of characterizations which were X-Ray Diffraction, Fourier Transform Infrared spectroscopy, Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDXA).

2. MATERIALS AND METHODS

Materials used in this research were chicken eggshells, $(NH_4)_2HPO_4$ (ammonium hydrophosphate) solution and Aquabides.

Eggshell was heated at 1000°C to remove its organic compound and decompose the calcium carbonate into calcium oxide. The result was characterized using FTIR to check the impurities.

Calcium oxide (CaO) produced by calcinated eggshell and ammonium hidrophosphate were then diluted in 100 mL aquabides. This precipitation process was performed at 5±0.5°C. The next step was to dry the sample using freeze dryer for 24 hours. The concentration variation of calcium oxide and ammonium hidrophosphate solutions with Ca/P ratio of 1.67 was shown at Table 1. Figure 1 shows the set up of precipitation method.

Table 1. Concentration variation of sample molarity

Sample	Molarity of Solution (M)	
	CaO	$(NH_4)_2HPO_4$
A1	0,1	0, 06
A2	0,5	0,3
A3	1	0,6

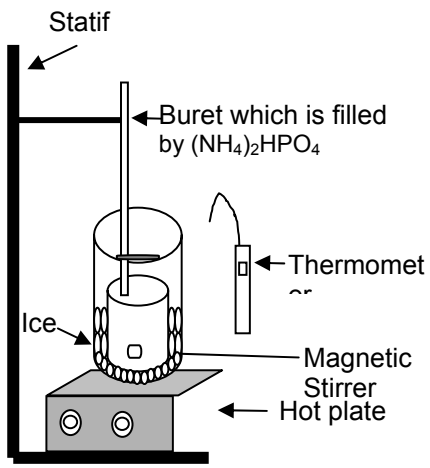


Figure 1. Set up of precipitation method

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. XRD and FTIR Analysis of Amorphous Calcium Phosphate

Figure 2 shows X-ray difraction pattern of sample structure produced by precipitation process with molarity variation of Ca and P. Based on this XRD pattern, it could be seen that phase of the third sample, A3, is a mixture of amorphous and crystalline phases. Sample A1 shows the highest amorphous phase precentage. It proved that amorphous calcium phosphate is best made by low temperature-precipitation process with low concentration of Ca and P. Figure 2 shows that as the concentration was higher, the crystallinity degree also higher. Sample A1 with concentration ratio of $CaO/(NH_4)_2HPO_4$ 0,1/0,06 M produced the degree of crystallinity of amorphous calcium phosphate 14. 39%, whereas samples A2 and A3 with concentration ratio of $CaO/(NH_4)_2HPO_4$ 0,5/0,03 M and 1/0,6 M produced the degree of crystallinity of amorphous calcium phosphate 43,55% and 37,62 %, respectively. This might be caused by solution saturation rate. The solution, as a consequence of soluble substance addition in solvent, became saturated faster. Solution with calcium and phosphate ions concentration less than 2 mM is called in low supersaturated condition while solution with calcium and phosphate ions concentration more than 10 mM is called in high

supersaturated condition. Low supersaturated solution produces stoichiometry of hydroxiapatite (HAp) directly without formation of metastable calcium phosphate phase. Unlike the formation of HAp process, the first precipitation result from high supersaturated solution is amorphous calcium phosphate. Furthermore, the transformation of amorphous calcium phosphate into stable crystal hydroxyapatite phase was preceded by formation of metastable non-apatite crystal phase such as Octacalcium phosphate and dicalcium phosphate dihydrat (Aoki 1991). Table 2 shows the crystallinity degrees of the three samples resulted from XRD characterization.

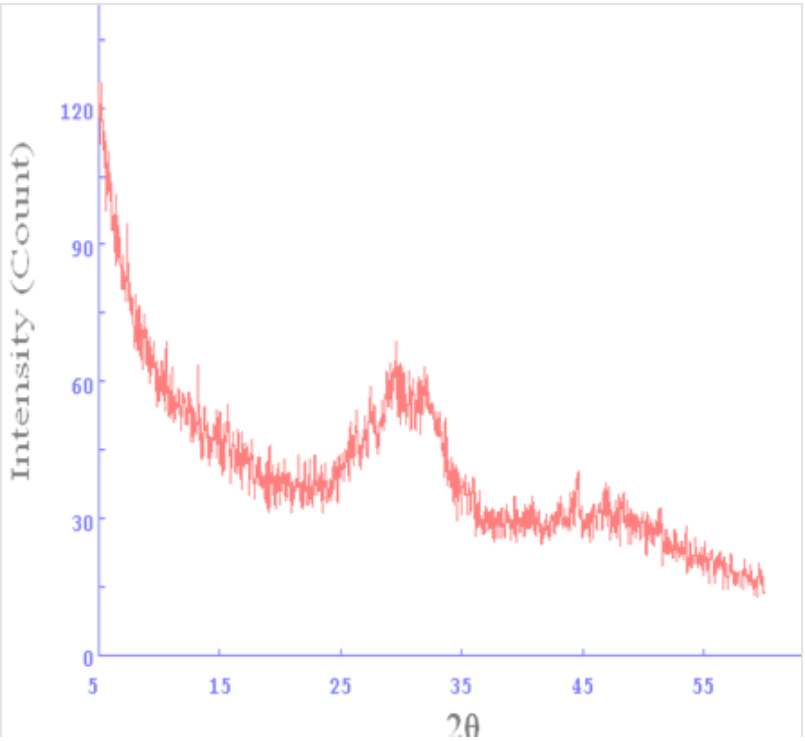
Table 2 Crystallinity degree of samples A1, A2 and A3

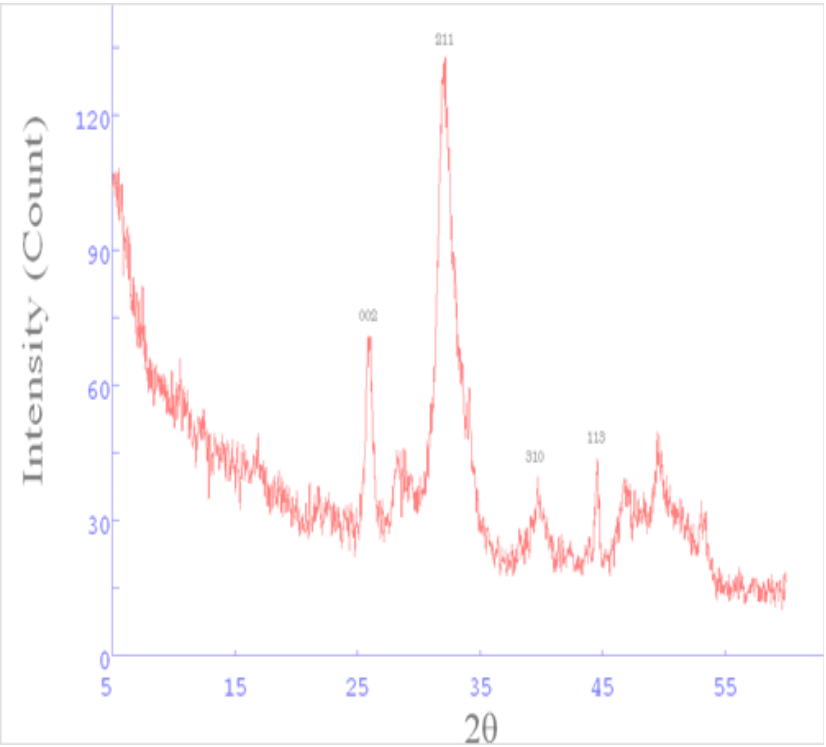
Sample	Board Curve (cm^2)		Cristallinity (%)
	Amorphous	Crystal	
A1	47,60	8,00	14,39
A2	30,38	23,44	43,55
A3	37,60	22,79	37,62

The FTIR data confirmed the evolution observed by XRD. The spectra of sample A1 shown in Figure 3 were not splitting which indicate that the sample is in amorphous phase at absorption band of PO_4^{3-} and CO_3^{2}. The FTIR spectra showed two wide bands typical for amorphous calcium phosphate: PO_4^{3-} stretching in the region of 1200 cm^{-1} to 900 cm^{-1}, and PO_4^{3-} bending in the region of 630 cm^{-1} to 500 cm^{-1} (Stoch et al 1999). Sample A1 has absorption band PO_4^{3-} bending in the region of 563,18 cm^{-1} and PO_4^{3-} stretching in the region of 1039,56 cm^{-1}.

Moreover the FTIR spectra of deproteined samples showed the absorption bands characteristic of amorphous calcium phosphate for carbonate with the band at 1455-1430 cm^{-1} and 870 cm^{-1}. Sample A1 has absorption band CO_3^{2-} in the region of 1490,88, 1425,30 and 875cm^{-1} with symmetry shape indicating that the sample is in amorphous phase.

Carbonate is inhibitor for calcium phosphate compound crystallization process[1]. As the number of carbonate ions is higher, the sample will be more amorphous. Carbonate content in sample A1 is higher than that in the others. This is indicated by low transmittance. Thus, sample A1, based on carbonate content, was in amorphous phase. Apart from that, the amorphous calcium phosphate has plenty of HPO_4^{2-} (Bigi *et al* 1992). HPO_4^{2-} spectra is in the region of 800 cm^{-1}. Based on FTIR spectra, it can be seen that the HPO_4^{2-} content in sample A1 is higher than that in the others which was indicated by low transmittance of HPO_4^{2-}. Thus, based on HPO_4^{2-} content, sample A1 is amorphous calcium phosphate.


Intensity (Count)
120
90
60
30
0
5
15
25
35
45
55
2θ


Intensity (Count)
120
90
60
30
0
5
15
25
35
45
55
2θ
211
002
310
113

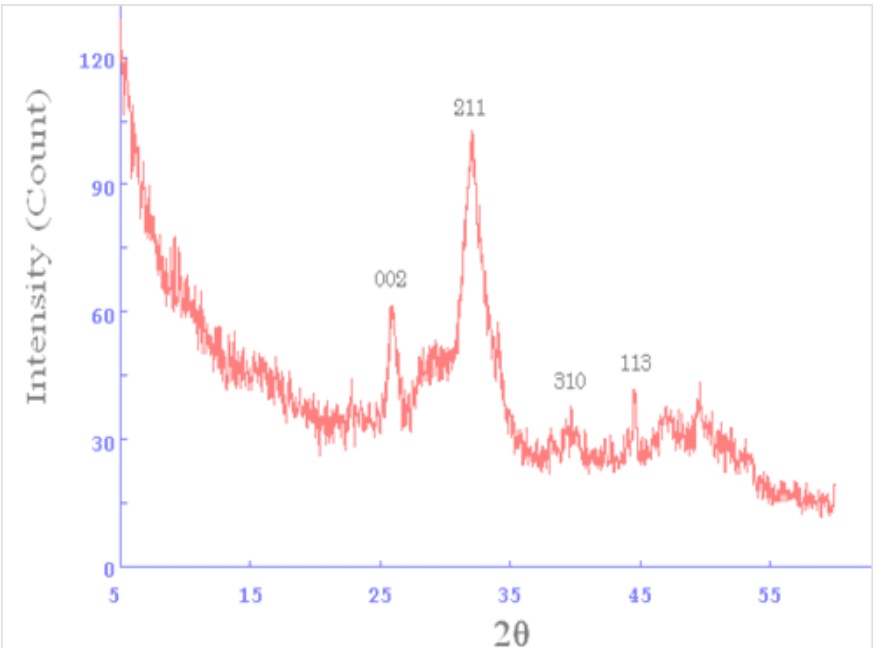


Figure 2. XRD patterns of samples A1, A2 and A3.

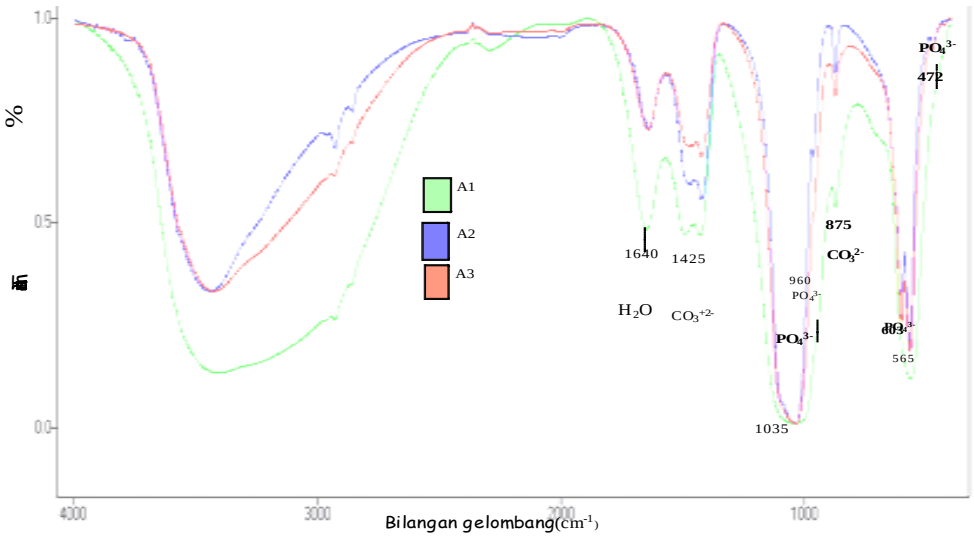


Figure 3. FTIR spectra of samples A1, A2 and A3.

3.2. SEM and EDXA Analysis of Amorphous Calcium Phosphate

SEM analysis was used for identifying the morphology of the sample surface. The result can be seen in Figure 4. In general, morphology of the sample surface appears like particle groups. The morphology of A1 was seen as particle groups in spherical shape.

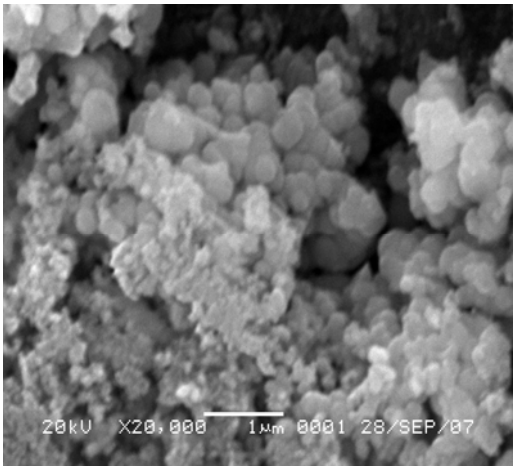
Some space was empty resulting that amorphous bones, generally, mechanically softer than the crystalline ones. Figure 4 also shows that sample morphology of A2 and A3 also presents groups of particles but fully covered the sample surface.

The observation of EDXA was done together with SEM. The percentage of element mass of the samples is shown in Table 3. It can be seen that Ca/P ratio of sample A1 is 1,8.

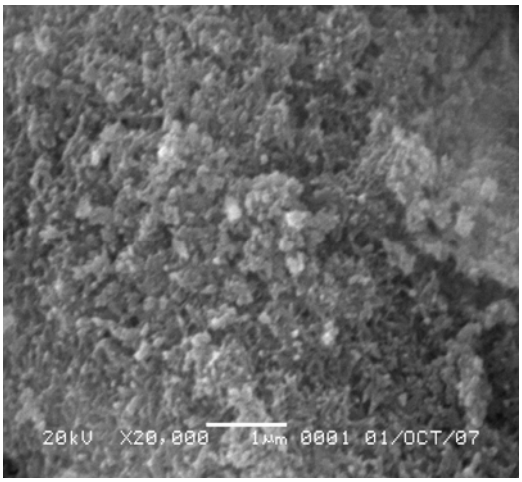
Table 3. Mass element percentage of samples A1, A2 and A3

Element	% mass element		
	A1	A2	A3
C	14,34	12,54	27,93
O	36,55	37,15	36,21
F	0,61	0,51	0,08
Na	0,15	0,1	0,08
Mg	0,35	0,25	0,42
P	14,34	13,63	10,28
Cl	0,10	0,04	0,01
K	0,16	0,26	0,09
Ca	33,38	35,52	24,91
Ca/P	1,8	2,02	1,88

(a)



(b)



(c)

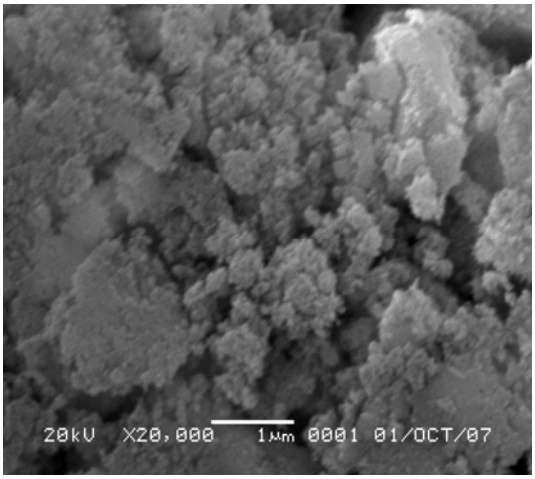


Figure 4. Surface morphology of samples (a) A1, (b) A2, and (c) A3.

4. CONCLUSION

Precipitation of calcium oxide and ammonium hydrophosphate solution at 5 ± 0,5 °C with concentration ratio of Ca/P 0,1/0,06 M (sample A1) produced the most amorphous calcium phosphate. XRD analysis shows that the crystallinity degree of sample A1 is 14,39%. The result of SEM characterization shows that sample A1 appears in groups of spherical shapes. FTIR characterization of sample A1 showed smooth shape (not spliting) which indicate the sample is in amorphous phase. Moreover the result of EDXA produced Ca/P ratio of sample A1 is 1,8.

REFERENCES

Aoki H. 1991. *Science and Medical Applications of Hydroxyapatite.* Tokyo: Tokyo Univ Pr.

Banerjee A, Banyopadhyay A, Bose S. 2006. Hydroxyapatite nanopowders: Synthesis, densification and cell–materials interaction. *Materials Science and Engineering C* 27: 729–735.

Bigi A, Foresti E, Gregorini R, Ripamonti A, RoveriN, Shah JS. 1992. The role of Magnesium on the Structure of Biological apatites. *Calc Tiss Ress* 50:439-444.

Stoch A, Jastrze¸bski W, Broz˙ek A, Trybalska B, Cichocin´ska M, Szarawara E. 1999. FTIR monitoring of the growth of the carbonate containing apatite layers from simulated and natural body fluids. *Journal of Molecular Structure* 511–512 : 287–294.

MODEL SIS DENGAN PERTUMBUHAN LOGISTIK

Eti Dwi Wiraningsih[1], Widodo[2], Lina Aryati[2], Syamsuddin Toaha[4]

[1]Universitas Negeri Jakarta
[2]Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
[3]Universitas Hassanudin Makassar

Abstrak

Dalam paper ini akan dibahas model interaksi satu spesies yang dipengaruhi oleh penyakit, dimana spesies tidak mengalami kekebalan setelah terinfeksi, sehingga kelas rentan berpindah ke kelas terinfeksi ketika terjadi penginfeksian dan akan kembali ke kelas rentan setelah penyembuhan (SIS). Lebih khusus model ini dibatasi dengan asumsi penyakit mengurangi reproduksi dan penyakit berelasi dengan kematian. Jika tidak ada penyakit, maka model merupakan persamaan logistik biasa, dengan pertumbuhan terbatas. Selanjutnya akan dianalisa kestabilan dan perilaku asimtotis di sekitar titik ekuilibriumnya.

Kata kunci : Model SIS, Model pertumbuhan logistik

1. PENDAHULUAN

Patogen seperti virus, bakteri dan protozoa memberikan pengaruh terhadap dinamika populasi induk (Anderson dan May, 1978, 1986; May dan Anderson, 1978; Hethcote dan Lewin, 1989; Begon dan Bowers, 1995; Grenfell dan Dobson, 1995). Sebagai contoh, infeksi penyakit dapat merubah ukuran atau densitas dari populasi induk.

Infeksi penyakit disebut tipe SIS jika spesies tidak mengalami kekebalan setelah terinfeksi, sehingga kelas rentan berpindah ke kelas terinfeksi ketika terjadi penginfeksian dan akan kembali ke kelas rentan setelah penyembuhan. Jika spesies mengalami kekebalan sementara setelah sembuh, maka penyakit dikatakan bertipe SIRS. Model SIR adalah kasus khusus dari model SIRS dimana kekebalan bersifat permanen, sehingga spesies yang telah sembuh tidak akan pernah kehilangan kekebalannya. Disini akan dibahas modifikasi SIS pada populasi induk dengan penyakit berhubungan dengan kematian dan penyakit mengurangi reproduksi.

Selengkapnya bahasan dalam makalah ini meliputi formulasi baru dan analisis model untuk penyakit tipe SIS dalam satu populasi induk dengan pertumbuhan logistik dengan kedua jenis tipe insiden, yaitu insiden *frequency-dependent* dan insiden *mass-action*. Untuk model dengan insiden *frequency-dependent*, dua kuantitas threshold menentukan tiga kemungkinan perilaku asimtotik dari solusinya. Kemungkinan yang pertama adalah bahwa penyakit pergi dari populasi induk dan ukuran populasi mendekati kapasitas batas. Kemungkinan kedua adalah bahwa penyakit meninggalkan endemik dan

ukuran populasi mendekati suatu titik ekuilibrium baru di bawah kapasitas batas. Kemungkinan ketiga adalah bahwa penyakit meninggalkan endemik, tetapi kematian yang disebabkan oleh infeksi lebih kuat daripada angka pertumbuhan populasi maksimum, sehingga ukuran populasi induk menuju nol (kepunahan). Ketiga kemungkinan ini beralasan secara intuitif, tetapi tidak terjadi dalam suatu populasi induk dengan insiden mass-action.

2. METODE PENELITIAN

Dasar Pelaksanaan penelitian ini adalah karya ilmiah hasil penelitian para pakar yang disajikan dalam jurnal internasional, buku, maupun homepage ilmiah di internet. Oleh karena itu metode penelitian yang sesuai adalah metode studi literatur. Dengan mempelajari secara mendalam dan menyeluruh karya-karya ilmiah mulai teori dasar yang digunakan hingga hasil-hasil penelitian terbaru yang relevan diharapkan permasalahan yang diangkat dalam penelitian dapat diselesaikan.

3. DASAR TEORI

3.1. Kestabilan Dinamik

Teorema 3.1 (Willems, 1970).

Titik ekuilibrium *x=0* dari sistem linier $\dot{x} = f(x) = Ax$ adalah stabil jika semua nilai eigen dari matrik *A* mempunyai bagian real tak positif dan stabil asimtotik jika semua nilai eigen dari matrik *A* mempunyai bagian real negatif. Titik ekuilibrium tersebut tidak stabil jika paling tidak satu nilai eigen mempunyai bagian real positif. Dan tidak stabil secara lengkap jika semua nilai eigen dari matrik A mempunyai bagian real positif.

Mari kita pikirkan suatu sistem dua dimensi tak linier

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f_1(x, y) \\ \dot{y} &= f_2(x, y), \end{aligned} \tag{3.1}$$

yang mana f_1 dan f_2 memenuhi syarat Lipschitz lokal dalam kedua *x* dan *y*.

Teorema 3.2 Poincare – Bendinxson, (lihat Coddington dan Levinson (1955), Burton (1985) dan Glendening (1994)).

Diberikan $\phi(t)$ solusi dari sistem (3.1) yang terbatas untuk *t≥0*. Salah satu dipenuhi

(i) ϕ periodik

(ii) ϕ konvergen ke solusi periodik, atau

(iii) ada barisan $\{t_n\} \to \infty$ sedemikian hingga $\phi(t_n) \to (x_0, y_0)$ dan $f_1(x_e, y_e) = f_2(x_e, y_e) = 0$, i.e., (x_e, y_e) adalah titik ekuilibrium dari sistem (3.1).

Teorema 3.3 Kriteria Bendixson, (lihat Wiggin (1990)).

Diberikan f_1 dan f_2 mempunyai turunan parsial pertama yang kontinyu dalam domain yang terhubung sederhana G dan andaikan bahwa $\frac{\partial f_1}{\partial x} + \frac{\partial f_2}{\partial y}$ tidak berubah tanda dalam G dan tidak menghilangkan identitas dalam subhimpunan terbuka G. Maka tidak ada lintasan tertutup dalam G.

Teorema 3.4 Bendixson – Dulac, (lihat Wiggins (1990) dan Glendening (1994)).

Andaikan ada suatu fungsi smooth B(x,y) sedemikian hingga

$$\frac{\partial(B(x,y)f_1(x,y))}{\partial x} + \frac{\partial(B(x,y)f_2(x,y)}{\partial y}$$

tidak merubah tanda atau menghilangkan identitas dalam subhimpunan terbuka yang terhubung sederhana dalam domain G. Maka tidak ada lintasan tertutup di seluruh G.

3.2. Model Logistik

Model Logistik, kadangkala disebut model Verhulst atau kurva pertumbuhan logistik. Model ini kontinyu terhadap waktu yang dinyatakan oleh persamaan diferensial

$$\frac{dx}{dt} = rx\left(1 - \frac{x}{K}\right).$$

Konstanta *r*, diasumsikan positif, disebut rata-rata pertumbuhan intrinsik, karena proporsi rata-rata pertumbuhan untuk *x* kecil akan mendekati *r*. Konstanta positif *K* dimaksudkan sebagai kapasitas batas lingkungan yaitu ketahanan populasi maksimum. Populasi pada tingkat *K* kadang juga disebut tingkat kejenuhan, karena untuk populasi besar lebih banyak kematian daripada kelahiran. Solusi model logistik dengan syarat awal $x(0) = x_0 > 0$ adalah

$$x(t) = \frac{x_0 K}{x_0 + (K - x_0)e^{-rt}}.$$

Model Logistik mempunyai dua titik ekuilibrium, yaitu x = 0 dan *x* = *K*. Titik ekuilibrium pertama tidak stabil sedangkan titik ekuilibrium kedua stabil asimtotik global.

4. INSIDEN *FREQUENCY-DEPENDENT* DAN INSIDEN *MASS-ACTION*

Insiden penyakit didefinisikan sebagai jumlah individu terinfeksi baru dari individu rentan yang disebabkan adanya kontak dengan individu terinfeksi. Seringkali disebut juga sebagai insiden horizontal untuk membedakannya dari insiden vertikal, yaitu jumlah kelahiran baru yang mendapatkan infeksi dari induknya. Pandang $X(t)$ sebagai jumlah individu rentan dalam waktu *t*, $Y(t)$ jumlah individu terinfeksi pada waktu *t* dan $N(t)$ ukuran populasi induk pada waktu *t*. Bentuk insiden dalam persamaan untuk dY/dt sering dituliskan sebagai $\lambda X = crpX$, dimana efisiensi penginfeksian λ adalah perkalian dari rata-rata kontak *c*, probabilitas kontak dengan penginfeksi *r*, dan probabilitas bahwa rata-rata kontak dengan penginfeksi cukup untuk mentranmisikan infeksi ρ. Biasanya probabilitas pentransmisian ρ diasumsikan konstan. Probabilitas *r* adalah bagian kelompok terinfeksi secara lokal, yang sering diasumsikan sama dengan bagian terinfeksi Y/N dalam seluruh populasi. Sehingga titik insidensi dapat dinyatakan dengan $cpXY/N$ dengan rata-rata kontak *c* khusus.

Asumsi umum adalah bahwa rata-rata kontak lokal *c* proporsional terhadap densitas lokal yang sama dengan densitas global N/A, dimana *A* adalah area tetap yang digunakan oleh populasi tersebut. Dengan konstanta *k* yang proporsional, insiden diatas menjadi $kpXY/A = \eta XY$. Bentuk insiden ini sering disebut sebagai insiden *mass-action* yang telah digunakan secara luas dalam pemodelan epidemik (Anderson dan May,1991).

Dilain pihak jika β menyatakan jumlah rata-rata cukup kontak (kontak cukup untuk transmisi) dari binatang rentan persatuan waktu. Karena Y/N adalah proporsi binatang terinfeksi persatuan waktu dari satu binatang rentan maka $\beta Y/N$ adalah jumlah rata-rata cukup kontak dari satu binatang rentan dengan binatang terinfeksi. Jumlah kasus baru persatuan waktu $(\beta Y/N)X$ adalah jumlah rata-rata cukup kontak dari semua binatang rentan dengan binatang terinfeksi persatuan waktu. Hethcote menyebut bentuk $\beta XY/N$ insiden standar**.** Karena insiden ini bergantung pada frekuensi penginfeksian Y/N, Begon et al menyebut bentuk $\beta XY/N$ sebagai *insiden frequency-dependent***.**

Kedua hukum tersebut sering digunakan dalam model infeksi penyakit. Dalam kasus insiden *mass-action*, parameter η tidak mempunyai interpretasi epidemiologis, tetapi jika dibandingkan dengan rumus insiden *frequency-dependent* menunjukkan bahwa $\beta = \eta N$ yang secara implicit memberikan asumsi bahwa rata-rata kontak β merupakan fungsi linear naik dari ukuran populasi. Tetapi kebergantungan linier ini tidak didukung oleh data, karena transmisi antara dua binatang ditentukan terutama oleh interaksi lokal diantara binatang yang biasanya bebas atau hanya bergantung lemah pada ukuran populasi. Dari

berbagai kajian ditemukan juga bahwa insiden (standar) *frequency-dependent* lebih realistik daripada insiden *mass-action*.

5. MODEL SIS DENGAN PERTUMBUHAN LOGISTIK.

Model SIS satu populasi induk dengan pertumbuhan terbatas dirumuskan dengan

$$\begin{aligned} dN/dt &= \left[a - \frac{\chi rN}{K}\right]\left[X + (1-f)Y\right] - \left[b + \frac{(1-\chi)rN}{K}\right]N - \alpha_0 Y \\ &= r(1 - N/K)N - (\alpha_0 + af)Y + f\chi rYN/K, \\ dX/dt &= \left[a - \frac{\chi rN}{K}\right]\left[X + (1-f)Y\right] - \left[b + \frac{(1-\chi)rN}{K}\right]X - g(X,Y,N) + \gamma Y, \qquad (5.1) \\ dY/dt &= g(X,Y,N) - \left[\gamma + b + \alpha_0 + \frac{(1-\chi)rN}{K}\right]Y, \end{aligned}$$

Dimana a adalah angka kelahiran per kapita individu rentan pada ukuran populasi yang sangat rendah dan *f* adalah penurunan angka kelahiran yang disebabkan adanya penginfeksian, sehingga $a(1-f)$ adalah angka kelahiran per kapita untuk individu terinfeksi pada ukuran populasi yang sangat rendah. Disini *b* adalah angka kematian alami per kapita pada ukuran populasi yang sangat rendah, $r = a - b$ adalah angka pertumbuhan per kapita net positif, χ adalah konstanta kombinasi konveks dengan $0 \le \chi \le 1$, *K* adalah kapasitas batas lingkungan, γ adalah angka kesembuhan per kapita, dan α_0 adalah angka kematian berhubungan dengan penginfeksian per kapita. Insiden $g(X,Y,N)$ adalah insiden frequency-dependent $\beta XY/N$ atau insiden mass-action βXY. Model SIS ini dan model SIRS yang analog dengan insiden *frequency-dependent* (standard) dan transmisi vertical, tetapi tanpa pengaruh infeksi mengurangi reproduksi, telah dipelajari oleh Gao dan Hethcote (1992).

Tanpa kehadiran penyakit persamaan dN/dt adalah persamaan diferensial logistic untuk pertumbuhan terbatas, sehingga solusi-solusinya dengan $N(0)$ >0 mendekati kapasitas batas *K*. Untuk 0<χ <1, angka kelahiran per kapita $a - \chi rN/K$ menurun dan angka kematian per kapita $b + (1-\chi)rN/K$ meningkat sebagaimana naiknya ukuran populasi *N*; hal ini konsisten dengan sumber-sumber terbatas bersesuaian dengan kebergantungan densitas. Angka kelahiran bebas densitas ketika $\chi = 0$ dan angka kematian bebas densitas ketika $\chi = 1$. Angka kelahiran tidak mudah dianalisa untuk ukuran populasi *N* yang sangat besar, sehingga dipikirkan invarian positif subset dari

kuadran pertama dengan $N < aK / \chi r$. Karena $N' < 0$ untuk $N > K$, semua lintasan solusi dalam subset diatas mendekati, masuk, atau menetap dalam subset tersebut dengan $N \le K$. Dari sini dianalisa lintasan solusi dengan $N = X + Y \le K$.

Model (5.1) dapat direduksi dengan menggunakan $I = Y / N$ dan $X / N = 1 - I$ menjadi system berikut

$$dN / dt = \left[r(1 - N / K) - (af + \alpha_0)I + f\chi rIN / K\right]N ,$$

$$dI / dt = g^*(I, N) - \left[\gamma + a + \alpha_0 - (af + \alpha_0)I - \chi r(1 - fI)N / K\right]I . \qquad (5.2)$$

Disini insiden $g^*(I, N) = g(X, Y, N) / N$ adalah insiden *frequency-dependent* $\beta I(1 - I)$ atau insiden *mass-action* $\beta I(1 - I)N$. Model ini terletak dalam $D = \{(N, I) : 0 \le N \le K,\ 0 \le I \le 1\}$. Perilaku asimtotik diringkas dalam table 1 dengan definisi kuantitas threshold dan buktinya diberikan dalam bagian berikut.

5.1. Model SIS Logistik dengan insiden *frequency-dependent*

Dengan insiden *frequency-dependent* model (5.2) menjadi

$$dN / dt = \left[r(1 - N / K) - (af + \alpha_0)I + f\chi rIN / K\right]N .$$

$$dI / dt = \left[\beta(1 - I) - (\gamma + a + \alpha_0) + (af + a_0)I + \chi r(1 - fI)N / K\right]I . \qquad (5.3)$$

Perilaku dari sistem ini dikontrol oleh tiga kuantitas threshold:

$$R_2 = \beta / (\gamma + a + \alpha_0 - \chi r) ,$$

$$R_1 = \beta / (\gamma + a + \alpha_0) ,$$

$$\phi = \frac{r}{(af + \alpha_0)\left[1 - (\gamma + b + \alpha_0)\beta\right]} . \qquad (5.4)$$

Catat bahwa $R_2 \ge R_1$. Sistem ini selalu mempunyai titik-titik equilibrium $E_1 = (0,0)$ dan $E_2 = (K,0)$. Jika $R_1 > 1$, maka titik equilibrium $E_3 = (0, I_3)$ berada dalam *D*, dimana

$$I_3 = \frac{\beta - (\gamma + a + \alpha_0)}{\beta - (af + \alpha_0)} . \qquad (5.5)$$

Suatu titik equilibrium dalam interior *D* harus memenuhi persamaan-persamaan

$$r(1 - N / K) - (af + \alpha_0)I + f\chi rIN / K = 0 ,$$

$$\beta(1 - I) - (\gamma + a + \alpha_0) + (af + \alpha_0)I + \chi r(1 - fI)N / K = 0 . \qquad (5.6)$$

Tabel 1. Perilaku asimtotik dari model SIS logistic.

Insiden frequency-dependent	$g = \beta XY / N \Rightarrow g^* = \beta(1-I)I$
Kasus 1: $1 \geq R_2 \geq R_1$	$N(0) > 0 \Rightarrow (N,I) \to E_2 = (K,0)$
Kasus 2: $R_2 > 1 \geq R_1$	$N(0) > 0,\ I(0) > 0 \Rightarrow (N,I) \to E_4 = (N_4, I_4)$
Kasus 3: $R_1 > 1$ & $\phi < 1$	$I(0) > 0 \Rightarrow (N,I) \to E_3 = (0, I_3)$
Kasus 4: $R_1 > 1$ & $\phi > 1$	$N(0) > 0,\ I(0) > 0 \Rightarrow (N,I) \to E_4 = (N_4, I_4)$

Insiden mass-action	$g = \beta XY \Rightarrow g^* = \beta(1-I)IN$
Kasus 1: $R_3 \leq 1$	$N(0) > 0 \Rightarrow (N,I) \to E_2 = (K,0)$
Kasus 2: $R_3 > 1$	$N(0) > 0,\ I(0) > 0 \Rightarrow (N,I) \to E_3 = (N_3, I_3)$

Menjumlah persamaan-persamaan ini menghasilkan persamaan linier

$$\beta(1-I) - (\gamma + b + \alpha_0) - r(1-\chi)N/K = 0. \tag{5.7}$$

Penyelesaikan (5.7) untuk rN/K dan substitusi ke dalam persamaan pertama dalam (5.6) menghasilkan persamaan kuadrat $Q_4(I) = f\chi\beta I^2 - cI + (\gamma + a + \alpha_0 - \chi r) = 0$, dimana $c = \beta(1+f\chi) - (1-\chi)(af + \alpha_0) - f\chi(\gamma + b + \chi_0)$. Karena $Q_4(1)$ selalu lebih kecil dari 0 dan $Q_4(0) > 0$ jika dan hanya jika $R_2 > 1$, ada solusi positif tunggal I_4 dalam interval $(0,1)$ jika dan hanya jika $R_2 > 1$. Penyelesaian (5.7) untuk *I* dan substitusi ke dalam persamaan kedua dalam (5.6) menghasilkan persamaan kuadrat $Q_5(N) = 0$ dengan $Q_5(0) = r - (af + \alpha_0)[1 - (\gamma + b + \alpha_0)/\beta]$, yang positif jika dan hanya jika $\phi > 0$. Juga $Q_5(K) = -[f(a - r\chi) + \alpha_0](1 - 1/R_2)$, yang negatif jika dan hanya jika $R_2 > 1$, sehingga ada solusi N_4 dalam interval $(0,K)$ jika $\phi > 1$ dan $R_2 > 1$. Dari sini kita punya titik equilibrium $E_4 = (N_4, I_4)$ dalam interior *D* jika $R_2 > 1$ dan $\phi > 1$.

Titik equilibrium $E_1 = (0,0)$ selalu repulsif dalam arah *N* dan atraktif dalam arah *I* jika dan hanya jika $R_1 \leq 1$. Titik ekuilibrium $E_2 = (K,0)$ selalu atraktif dalam arah *N* dan atraktif dalam arah *I* jika dan hanya jika $R_1 \leq 1$. Pada sisi $I = 0$ dari *D* dengan $N(0) > 0$, $N(t) \to K$ jika $t \to \infty$. Ketika titik equilibrium I_3 berada dalam *D*, ini selalu atraktif dalam arah *I* dan atraktif dalam arah *N* jika $\phi < 1$.

Ada kemungkinan empat kasus. Dalam kasus 1 dengan $1 \geq R_2 \geq R_1$, hanya titik ekuilibrium $E_1 = (0,0)$ yang merupakan titik saddle dan titik ekuilibrium $E_2 = (K,0)$ adalah titik ekuilibrium yang atraktif. Dengan teori Poincare-Bendixson (Strogatz, 1994), semua solusi dalam *D* dengan $N(0) > 0$ mendekati titik ekuilibrium $E_2 = (K,0)$ jika $t \to \infty$.

Perhatikan kasus 2 dengan $R_2 > 1 \geq R_1$. Secara epidemik, periode penginfeksian rata-rata $1/\gamma$ seharusnya lebih kecil daripada rata-rata panjang waktu populasi yang rendah $1/a$, sehingga $\gamma > a > r = a - b$. Asumsi bahwa $\gamma > r$ dan $R_2 > 1$ berakibat bahwa $\beta > \gamma + a + \alpha_0 - \chi r > af + \alpha_0$. Sekarang $1 \geq R_1$ berakibat bahwa

$$1 > \frac{r\beta}{(af + \alpha_0)[\gamma + a + \alpha_0 - (\gamma + b + \alpha_0)]} = \frac{\beta}{af + \alpha_0} > 1.$$

Dari sini titik-titik ekuilibrium dalam D adalah titik sadel $E_1 = (0,0)$, titik sadel $E_2 = (K,0)$ dan titik interior equilibrium $E_4 = (N_4, I_4)$. Dengan menggunakan kriteria Dulac dengan pengali $1/(IN)$ dalam system (5.3), kita dapatkan bahwa *D* tidak mempunyai solusi periodic (Strogatz,1994). Dengan teori Poincare-Bendixson, semua solusi dalam *D* dengan $I(0) > 0$ dan $N(0) > 0$ mendekati ekuilibrium interior $E_4 = (I_4, N_4)$. Penjelasan secara intuisi dari kasus 2 adalah bahwa penyakit jarang meninggalkan endemic karena $R_2 > 1 \geq R_1$, tetapi angka pertumbuhan per kapita alami *r* mendominasi angka kematian perkapita yang dibangkitkan oleh adanya penginfeksian diberikan oleh $af + \alpha_0$ karena $\phi > 1$, sehingga ukuran populasi menuju *steady state* N_4 yang lebih kecil daripada kapasitas batas *K*.

Dalam kasus 3 dengan $R_1 > 1$ dan $\phi < 1$, titik-titik equilibrium dalam *D* adalah node tak stabil $E_1 = (0,0)$, titik sadel $E_2 = (K,0)$ (repulsive dalam arah *I*) dan node atraktif $E_3 = (0, I_3)$. Disini $R_1 > 1$ berakibat bahwa $\beta > af + \alpha_0$, sehingga criteria Dulac diatas masih dapat digunakan. Dengan teori Poincare-Bendixson, semua solusi dalam *D* dengan $I(0) > 0$ mendekati titik equilibrium $E_3 = (0, I_3)$. Penjelasan intuisi dari kasus 3 adalah bahwa penyakit meninggalkan endemik (i.e. $\liminf_{t \to \infty} I(t) > 0$) karena $R_2 > 1$ dan angka kematian yang bisebabkan oleh infeksi per kapita yang diberikan oleh $af + \alpha_0$ secara kuat mempengaruhi angka pertumbuhan alami per kapita *r* karena $\phi < 1$, sehingga populasi mengalami kepunahan.

Dalam kasus 4 dengan $R_1 > 1$ dan $\phi > 1$, titik-titik equilibrium dalam *D* adalah node tak stabil $E_1 = (0,0)$, titik sadel $E_2 = (K,0)$ (repulsif dalam arah *I*), titik sadel $E_3 = (0, I_3)$ (repulsif dalam arah *N*), dan titik equilibrium $E_4 = (N_4, I_4)$. Dengan criteria Dulac diatas dan teori Poincare-Bendixson, semua solusi dalam *D* dengan $N(0) > 0$ dan $I(0) > 0$ mendekati titik equilibrium interior $E_4 = (N_4, I_4)$. Penjelasan intuisi dari kasus 4 adalah bahwa penyakit meninggalkan endemik karena $R_2 > 1$ dan angka kematian per kapita yang disebabkan adanya infeksi diberikan oleh $af + \alpha_0$ didominasi oleh angka pertumbuhan alami per kapita *r* karena $\phi > 1$, sehingga ukuran populasi menuju *steady state* N_4 yang lebih kecil daripada kapasitas batas *K*.

Catat bahwa I_3 adalah serupa dengan I_e dalam model SIS dengan pertumbuhan exponensial, sehingga $r - (af + \alpha_0)I_3 = \rho$, dimana

$$\rho = r - (af + \alpha_0)I_e = \frac{r\beta - (af + \alpha_0)[\beta - (\gamma + b + \alpha_0)]}{\beta - (af + \alpha_0)} .$$

Dari sini untuk model SIS dengan insiden *frequency-dependent*, dan salah satu pertumbuhan exponensial atau pertumbuhan logistik, tanda dari ρ menentukan apakah populasi menjadi punah ($(\rho < 0 \Leftrightarrow \phi < 1)$ atau bertahan hidup $(\rho > 0 \Leftrightarrow \phi > 1)$.

5.2. Model SIS dengan insiden *mass-action*

Untuk insiden mass-action sistem (5.2) menjadi

$$dN/dt = [r(1 - N/K) - (af + \alpha_0)I + f\chi rIN/K]N ,$$
$$dI/dt = [\beta(1 - I)N - (\gamma + a + \alpha_0) + (af + \alpha_0)I + \chi r(1 - fI)N/K]I \qquad (5.8)$$

Perilaku dari system ini dinyatakan oleh threshold quantity

$$R_3 = \beta K/(\gamma + a + \alpha_0 - \chi r) .$$

Sistem tersebut selalu mempunyai titik-titik equilibrium $E_1 = (0,0)$ dan $E_2 = (K,0)$. Suatu titik equilibrium dalam interior *D* harus memenuhi persamaan-persamaan serupa pada (5.6) dan (5.7), tetapi dengan $\beta(1 - I)$ digantikan oleh $\beta(1 - I)N$. Penyelesaian analog dengan (5.7) untuk N/K dan substitusi ke dalam persamaan pertama dalam (5.6) menghasilkan persamaan kuadrat $Q_6(1) = 0$ dengan $Q_6(1) < 0$ dan $Q_6(0) > 0$ jika dan hanya jika $R_3 > 1$. Dari sini ada solusi positif I_3 dalam interval $(0,1)$ jika dan hanya jika

$R_3 > 1$. Penyelesaian analog dengan (5.7) untuk *I* dan substitusi modifikasi persamaan kedua dalam (5.6) menghasilkan persamaan kuadrat $Q_7(N) = 0$ dengan $Q_7(0) < 0$ dan $Q_7(K) < 0$ jika $R_3 > 1$, sehingga terdapat suatu solusi N_3 dalam interval $(0, K)$ jika $R_3 > 1$. Untuk alasan ini kita punya titik ekuilibrium $E_3 = (N_3, I_3)$ dalam interior *D* jika $R_3 > 1$.

Titik ekuilibrium $E_1 = (0,0)$ adalah titik sadel yang repulsive dalam arah *N* dan atraktif dalam arah *I*. Titik ekuilibrium $E_2 = (K,0)$ selalu atraktif dalam arah *N* dan atraktif dalam arah *I* jika $R_3 < 1$. Pada sisi $I = 0$ dari *D* dengan $N(0) > 0$, $N(t) \to K$ untuk $t \to \infty$. Menggunakan persamaan simultan untuk titik ekuilibrium $E_3 = (N_3, I_3)$, matriks Jacobian pada E_3 adalah

$$J = \begin{bmatrix} -[r - (af + \alpha_0) I_3] & -r\left(1 - \dfrac{N_3}{K}\right)\dfrac{N_3}{I_3} \\ \dfrac{[(\gamma + a + \alpha_0) + (af + \alpha_0) I_3]}{N_3} & -\left[\beta N_3 - (\gamma + a + \alpha_0) + \dfrac{\chi r N_3}{K}\right] \end{bmatrix}.$$

Menggunakan $Q_6(0) > 0$ jika $R_3 > 1$ dan $Q_6(r/(af + \alpha_0)) < 0$, kita lihat bahwa $I_3 < r/(af + \alpha_0)$ dan entri Jacobian $j_{11} < 0$. Menggunakan $Q_7(K) < 0$ jika $R_3 > 1$ dan $Q_7\big((\gamma + a + \alpha_0)/(\beta + \chi r/K)\big) > 0$, kita lihat bahwa $N_3 > (\gamma + a + \alpha_0)/(\beta + \chi r/K)$ dan $j_{22} < 0$. Dari sini matriks Jacobian mempunyai tanda negatif dan determinan positif, sehingga titik ekuilibrium $E_3 = (N_3, I_3)$ selalu stabil asimtotik lokal jika $R_3 > 1$.

Disini ada dua kasus. Dalam kasus 1 dengan $R_3 < 1$, titik ekuilibrium di *D* yang sadel $E_1 = (0,0)$ dan titik ekuilibrium atraktif $E_2 = (K,0)$. Dengan teori Poincare-Bendixson, semua solusi dalam *D* dengan $N(0) > 0$ mendekati titik ekuilibrium $E_2 = (K,0)$ untuk $t \to \infty$. Dalam kasus 2 dengan $R_3 > 1$, titik-titik ekuilibrium di *D* adalah titik sadel $E_1 = (0,0)$, titik sadel $E_2 = (K,0)$ (repulsif dalam arah *I*), dan titik ekuilibrium atraktif interior local $E_3 = (N_3, I_3)$. Menggunakan criteria Dulac dengan pengali $C = 1/[IN(1 - I)]$ dalam system (7.8), kita menemukan bahwa daerah *D* tidak mempunyai solusi periodik. Dengan teori Poincare-Bendixson, semua solusi dalam *D* dengan $I(0) > 0$ dan $N(0) > 0$ mendekati titik ekuilibrium interior $E_3 = (I_3, N_3)$.

6. KESIMPULAN

Tujuan dari makalah ini adalah untuk menambah pengetahuan bahwa perbedaan bentuk insiden penyakit dalam model infeksi penyakit seringkali mengakibatkan perbedaan threshold dan perilaku asimtotik yang signifikan. Untuk model dengan infeksi penyakit dalam satu populasi induk tanpa regulasi diri, tetapi dengan infeksi mengurangi reproduksi, infeksi berelasi dengan kematian, dan insiden frequency-dependent, terdapat jumlah reproduksi yang menentukan perilaku asimtotik. Untuk model analog dengan insiden mass-action, perilaku asimtotik ditentukan oleh nilai dari angka pertumbuhan maximum dan infeksi berhubungan dengan angka kematian, sehingga tidak ada threshold jumlah reproduksi.

DAFTAR PUSTAKA

H. W. Hethcote, Three Basic Epidemiological Models, Biomathematics, Vol. 18, 119-144, (1989)

H. W. Hethcote, W. Wang dan Y. Li, Species Coexistence and Periodicity in Host-Host-Pathogen Models, J. Math. Biol. 51, 629-660, (2005).

M. Begon, R. G. Bowers, N. Kadianakis, D. E. Hodgkinson, Disease and Community Structure: The Importance of Host Self-Regulation in a host host-pathogen model. Am. Nat. 139, 1131-1150, (1992)

R. M. Anderson, R. M. May, Regulation and Stability of Host-Parasite Population Interaction I: Regulatory Processes, J. Animal Ecology 47, 219-247, (1978)

R. M. Anderson, R. M. May, Population Biology of Infectious Diseases: Part I. Nature 280, 361-367, (1979)

R. A. Saenz dan H. W. Hethcote, Competing Species Models with an Infectious Disease, Math. Biosciences and Engineering, Vol. 3, 219-235, (2006)

INFORMATION EXTRACTION USING KNOWLEDGE GRAPH METHOD

SRI NURDIATI
Department of Mathematics
Bogor Agricultural University, Indonesia
(nurdiati@ipb.ac.id)

Abstract

Extracting information from an Indonesian document can be a problem, especially when the document contains a large amount of texts. For such a problem, there is a need to develop a method which is able to extract information from Indonesian document in an efficient and effective way. Knowledge graph method can be applied for such a problem. However, since the construction of the method was based on the structure of English, effectiveness of the method to an Indonesian structure needs to be investigated. The aim of this research is to extract information from Indonesian texts using knowledge graph method. The methodology, which is called KGExtract, consists of the following steps: name identification, semantic chunk tagging, partial structural parsing, pattern creation, pattern merging and template generation. KGExtract will produce a structured representation of the texts. The result of the research shows that basically knowledge graph method is also suitable for Indonesian structure. To be more effective, however, chunk indicators need to be modified slightly.

Keywords : information extraction, knowledge graph, chunk indicator, structural parsing, KGExtract

1. PENDAHULUAN

Memahami sebuah teks berbahasa Indonesia dalam jumlah besar tidak selalu mudah. Salah satu faktor penyebabnya adalah tidak mudahnya proses pengambilan informasi *(information extraction)* dari teks-teks yang dibaca. Dalam hal ini, beberapa metode telah dikembangkan untuk pengambilan informasi dari suatu teks, salah satunya adalah yang menggunakan konsep *Knowledge Graph* **(**KG). Penerapan KG dalam pengambilan informasi dari suatu teks terbukti sangat efektif, namun penerapannya baru pada teks berbahasa Inggris. Struktur bahasa Inggris tidak persis sama dengan struktur bahasa Indonesia, oleh sebab itu perlu dilakukan analisis terhadap struktur bahasa Indonesia sehingga konsep KG dapat digunakan untuk menganalisis dan memahami teks berbahasa Indonesia.

Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan konsep KG untuk mengambil informasi yang terdapat dalam teks berbahasa Indonesia. Metode yang digunakan bernama KGExtract dan terdiri dari beberapa tahapan, yaitu: identifikasi nama, pemotongan kalimat menjadi

beberapa *chunk,* pembentukan *chunk graph,* pembentukan pola, penggabungan pola dan pembuatan *template*. KGExtract menghasilkan suatu *integrated graph* yang merupakan representasi terstruktur dari teks yang bebas dari domain. Informasi yang terdapat pada *integrated graph* ini selanjutnya digunakan untuk mengisi struktur *template* yang dikehendaki.

2. *INFORMATION EXTRACTION SYSTEM* (IES)

IES adalah sistem yang mengaplikasikan metode pengambilan informasi dari suatu teks. Keluaran dari sistem ini adalah suatu representasi terstruktur dari informasi yang terdapat dalam teks tersebut. Representasi terstruktur yang dimaksud dapat berupa isi dari suatu basis data. IES ini berbeda dengan *Information Retrieval System* (IRS) yaitu suatu sistem temu kembali semua informasi yang relevan berdasar *query* yang diberikan. Namun biasanya aplikasi *Information Extraction* (IE) selalu didahului oleh fase *Information Retrieval* (IR). Secara umum, cara kerja IE meliputi 2 tahapan berikut: (1) *text analysis* untuk mengidentifikasi fakta-fakta yang terdapat dalam teks, (2) pengintegrasian fakta-fakta tersebut untuk menghasilkan fakta-fakta baru melalui proses penalaran [Zhang, 2002].

Hobbs lewat papernya membuat rincian lebih detil tentang cara kerja IES ini yang meliputi antara lain [Cowie & Wilks, 2000] : (1) *text zoner*, yang mengubah sebuah teks ke dalam bentuk himpunan segmen, (2) *preprocessor*, yang mengubah sebuah teks menjadi sekuens dari kalimat, (3) *filter*, yang mengubah sekuens dari kalimat menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dengan cara menghilangkan hal-hal yang kurang relevan, (4) *parser,* yang mengambil kata atau frasa kata sebagai input dan menghasilkan himpunan fragmen pohon parser, (5) *fragment combiner,* yang menggabungkan pohon parser atau bentuk-bentuk logika dari fragmen pohon parser, (6) *semantic interpreter*, yang membangkitkan struktur semantik atau bentuk-bentuk logika dari fragmen pohon parser, (7) *lexical disambiguator*, pemberian indeks pada setiap item leksikal untuk menghilangkan kerancuan predikat pada fragmen-fragmen logika, (8) *conference resolver*, untuk mengidentifikasi deskripsi yang berbeda dari entitas yang sama, (9) *template generator*, untuk mengisi IE *template* dengan informasi dari struktur semantik. Dari semua tahapan di atas, pendefinisian *template* adalah tahapan yang tidak mudah untuk dilakukan. Tahapan ini meliputi pemilihan elemen-elemen informasi yang diperlukan serta pendefinisian *relationship* antar elemen. Pendefinisian *relationship* terdiri atas 2 bagian, yaitu deskripsi sintak dari struktur *template* dan deskripsi aturan pengisian *template*.

Meskipun pada umumnya IES yang ada terbukti efektif untuk menyerap informasi dari teks pada domain terbatas, namun masih terdapat beberapa kesulitan dalam penyerapan informasi dari teks pada domain yang lebih luas. Atas dasar itu, telah diusulkan suatu pendekatan IE baru menggunakan model yang bebas dari domain. Pendekatan baru yang diberi nama KGExtract ini menggunakan metode KG untuk mengambil informasi yang terstruktur dari suatu teks dalam bahasa alami. KGExtract memunyai beberapa keunggulan, di antaranya: (1) modelnya sederhana, (2) bisa melakukan verifikasi aspek semantik, (3) memunyai representasi yang bebas dari domain, dan (4) dapat melakukan akusisi pola secara otomatis [Zhang, 2002]. Pada bagian berikut akan dijelaskan cara kerja dari KGExtract tersebut secara lebih detail.

3. *INFORMATION EXTRACTION* MENGGUNAKAN METODE *KNOWLEDGE GRAPH*

Sebelum menjelaskan KGExtract secara lebih detil, terlebih dahulu akan diberikan deskripsi metode KG yang melandasi cara kerja KGExtract. KG adalah suatu pendekatan baru dalam pemrosesan bahasa alami (*Natural Language Processing* (NLP)). Metode KG merepresentasikan informasi dalam bentuk graf yang terdiri dari *node* (untuk merepresentasikan konsep) dan *link* (untuk merepresentasikan relasi antar konsep). Metode KG yang diusulkan pertama kalinya oleh matematikawan di Belanda pada tahun 1982 ini termasuk dalam kelas teori *semantic networks*. Secara esensial metode KG memunyai kelebihan dibandingkan metode NLP yang lain karena hanya menggunakan jenis ontologi yang sangat terbatas, yaitu: 1 buah token, 8 buah link, 4 buah *frame* dan 1 simbol F untuk mengekspresikan fokus pada kata yang direpresentasikan [Nurdiati & Hoede, 2008].

Secara sederhana konsep KG dapat digambarkan dalam 3 slogan berikut (1) FRAMING AND NAMING, artinya konsep-konsep yang ada digambarkan sebagai isi dari suatu *frame* yang diberi nama tertentu (2) THE STRUCTURE IS THE MEANING, artinya struktur dari KG sekaligus menggambarkan aspek semantik dari isi teks yang direpresentasikan, dan (3) THINKING IS LINKING SOMETHING, artinya proses pembentukan KG dari suatu teks pada dasarnya adalah menghubungkan konsep dan relasi antar konsep menggunakan ontologi yang ada [Hoede & Nurdiati, 2008a].

KGExtract yang menggunakan metode KG untuk mengambil informasi dari suatu teks memunyai cara kerja yang terdiri atas beberapa tahapan berikut:

1. Identifikasi nama: Pada tahap ini dilakukan identifikasi kata-kata dalam teks yang termasuk dalam jenis orang, perusahaan, organisasi, kejadian, lokasi, dan lain-lain. Pada

saat yang sama, juga perlu diidentifikasi jenis katanya, apakah termasuk dalam kata benda, kata kerja, preposisi, kata sifat, kata keterangan, kata ganti orang, kata tugas, numeral, dan lain sebagainya. Selanjutnya dibuat *word graph* dari setiap kata yang ada dalam teks. Hasil dari tahapan ini berupa suatu daftar yang berisi semua kata dalam teks lengkap dengan jenis kata dan *word graph*nya [Hoede, 1995].

2. Pemotongan kalimat menjadi beberapa *chunk*: *Chunk* merupakan potongan kalimat atau potongan ucapan pada waktu seseorang berbicara. Menurut Abney [1994], saat mengucapkan sebuah kalimat, seseorang akan mengucapkannya dalam beberapa bagian atau potongan yang disebut dengan *chunk*. Hal ini ditandai dengan selaan napas atau pemberhentian ketika mengucapkannya. Pembentukan *chunk* dilakukan menggunakan indikator-indikator berikut: (1) *Pairs of comma's or period sign* yaitu tanda koma atau titik yang menandakan bahwa suatu kalimat terbagi menjadi beberapa bagian. (2) *Auxiliary verb* atau kata kerja bantu, misalnya: *can, will, must, be*. (3) *Reference word* misalnya "*the*", "*that*". (4) *Jump* atau lompatan yang terjadi bila dua kata berurutan tidak dapat dihubungkan. Contohnya dalam bahasa Inggris kata "*the*" selalu diikuti oleh kata benda seperti "*the cat*". Jika ada kata "*cat the*", maka kata "*the*" tersebut pasti bukan milik dari *cat* karena pasti ada kata benda lain yang mengikuti kata "*the*" tersebut. Ini berarti bahwa *cat* dan *the* harus diletakkan dalam *chunk* yang berbeda. (5) *Preposition*, yang biasanya sebagai penghubung antar bagian dalam kalimat. Contoh *preposition* dalam bahasa Inggris adalah *in, on, with, at.* [Zhang, 2002]. Satu indikator tambahan diperlukan untuk melakukan analisis pada teks berbahasa Indonesia, yaitu (6) *logic word* atau kata-kata dalam logika seperti kata "dan" serta "atau" [Hoede & Nurdiati, 2008b].
3. Pembentukan *chunk graph*: *Chunk graph* merupakan representasi graf dari masing-masing potongan kalimat. *Chunk graph* terdiri dari sebuah *word graph*, atau gabungan beberapa *word graph*. Hasil dari tahapan ini berupa suatu daftar yang berisi *chunk graph* dari kalimat-kalimat dalam teks yang dianalisis [Zhang, 2002].
4. Pembentukan pola: Dari *chunk graph* yang terbentuk pada tahapan sebelumnya dapat diketahui pola-pola tertentu yang ada dalam teks.
5. Penggabungan pola: Pada tahap ini pola-pola yang terdapat pada *chunk graph* diintegrasikan berdasar ukuran kemiripannya. Adakalanya diperlukan *background knowledge* (pengetahuan tambahan tentang kata atau hubungan antar kata yang ada dalam kalimat) [Popping, 2003] untuk melakukan proses penggabungan pola.

Penggabungan ini dilakukan secara bertahap hingga menghasilkan sebuah *integrated graph* yang merupakan representasi final dari teks dalam bentuk KG.

6. Pembuatan *template*: Tahap ini digunakan untuk mengonstruksi struktur *template* yang dikehendaki pada metode pengambilan informasi ini.

Hasil dari KGExtract berupa suatu *integrated graph* yang merupakan representasi terstruktur dari teks yang bebas domain. Informasi yang terdapat pada *integrated graph* ini dapat digunakan untuk mengisi struktur *template* yang telah disiapkan dengan informasi kunci yang merepresentasikan isi dari teks-teks yang dianalisis.

4. *INFORMATION EXTRACTION* PADA TEKS BERBAHASA INDONESIA

Pada bagian ini akan disajikan proses pengambilan informasi terstruktur dari teks bahasa Indonesia menggunakan KGExtract. Adapun teks yang digunakan adalah 2 kalimat berikut:

1. Tsunami adalah gelombang yang dipicu oleh kejadian alam.
2. Tinggi gelombang tsunami 1,0 - 3,0 meter di pusat gempa dan membesar di daerah pantai.

Kedua kalimat ini menjelaskan konsep ”Tsunami” yang berisi antara lain informasi tentang: KEJADIAN, PROSES, LOKASI, UKURAN dan BILANGAN. Selanjutnya dilakukan identifikasi jenis kata kata dan pembuatan *word graph* dari setiap kata yang ada pada kedua kalimat tersebut, hasilnya berupa kamus *word graph*.

Pada tahap berikutnya, kalimat akan dibagi dalam beberapa *chunk* (potongan kalimat) menggunakan *chunk indicators* di atas. Prosedur pembuatan *chunk* dilakukan secara bertahap hingga diperoleh *chunk* berikut, angka yang diberikan menunjukkan indikator yang digunakan :

1) |Tsunami^{5}| adalah^{2} | gelombang^{5} | yang^{2} | dipicu^{5} | oleh ^{4}| kejadian alam^{1} |.
2) |Tinggi gelombang tsunami^{5} |1,0 - 3,0 meter^{1} | di pusat gempa^{5} | dan^{6} | membesar^{5} | di^{4} | daerah^{4} | pantai^{1} |.

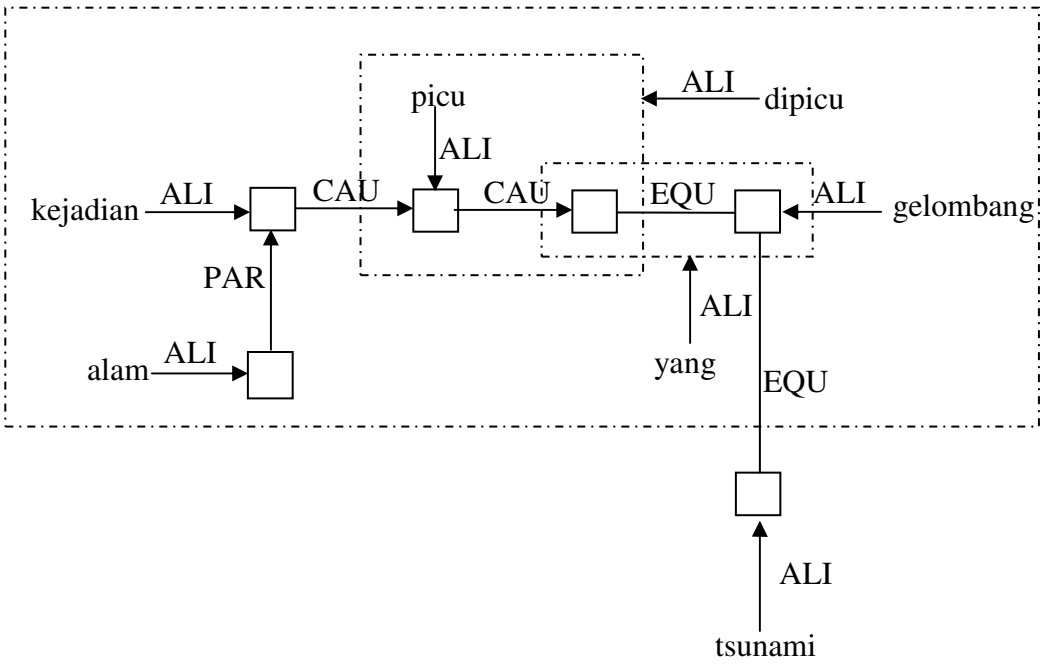
Hasil analisis teks menunjukkan bahwa kalimat di atas memuat 5 konsep berupa kata benda yaitu tsunami, gelombang, kejadian alam, gempa dan pantai. Kalimat 1 memuat frasa kata yaitu ‘kejadian alam’ yang merupakan gabungan kata benda. Kalimat 2 memuat tiga konsep yang berupa kata sifat yaitu tinggi, meter, dan 1,0 – 3,0.

Selain itu, kedua kalimat juga memuat preposisi (kata depan) yang berfungsi untuk melekatkan suatu konsep. Preposisi yang terdapat dalam kalimat tersebut adalah 'di'. Pada kalimat kedua juga terdapat gabungan dua preposisi, yaitu di pusat dan di daerah. Dalam bahasa Indonesia, dua preposisi atau kata depan yang digabungkan tidak lagi membentuk preposisi, tetapi membentuk frasa preposisi. Frasa preposisi ini dapat berfungsi sebagai keterangan tempat atau keterangan waktu.

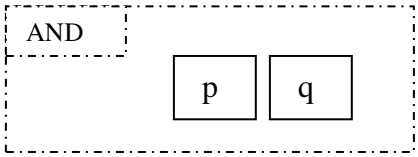
Kata lainnya yang terdapat dalam kedua kalimat tersebut adalah kata kerja 'dipicu' dan 'membesar' serta kata hubung 'yang' , 'adalah' serta kata logika 'dan'. Dalam struktur bahasa Inggris, kata kerja bantu " is, am, are" atau biasa disebut *to be*, yang padanannya dalam bahasa Indonesia "ialah atau adalah atau yang" dapat dinyatakan dengan *word graph* berikut:

Kata "ialah atau adalah atau yang" dalam bahasa Indonesia bukan merupakan kata kerja bantu tapi termasuk dalam kelompok kata penghubung.

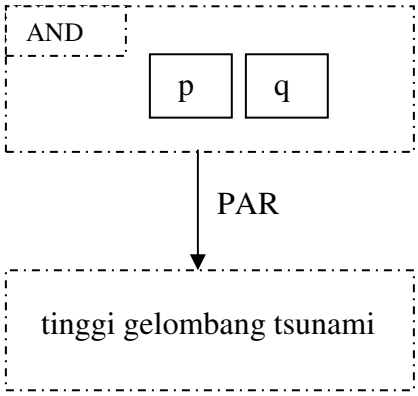
Setelah melakukan proses *parsing* dan *chunking* serta penggabungan pola, maka diperoleh representasi terstruktur dari kalimat "Tsunami adalah gelombang yang dipicu oleh kejadian alam" sebagai berikut: Pada kalimat pertama ini kata 'oleh' direpresentasikan dalam bentuk relasi CAU pada objek kata kerja 'dipicu'.



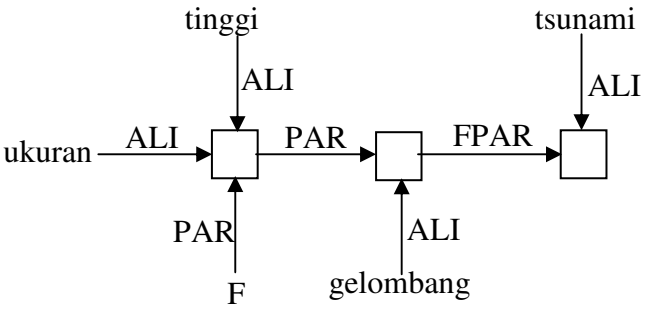
Hasil analisis teks pada kalimat kedua, yaitu ”Tinggi gelombang tsunami 1,0 - 3,0 meter di pusat gempa dan membesar di daerah pantai” menggambarkan pemakaian kata ’dan’ yang menghubungkan proposisi p dan q. Dalam hal ini, proposisi p mewakili frasa ”1,0 sampai 3,0 meter di pusat gempa” dan proposisi q mewakili frasa ”membesar di daerah pantai”. *Word graph* dari kata ’dan’ direpresentasikan menggunakan AND-*frame* berikut:



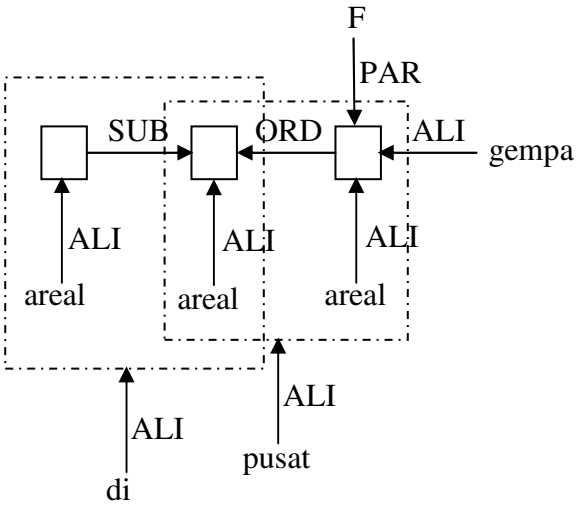
Lebih lanjut, proposisi ’p dan q’ ini menerangkan frasa ’tinggi gelombang tsunami’. Dengan demikian secara keseluruhan, struktur *word graph* dari kalimat 2 berbentuk:



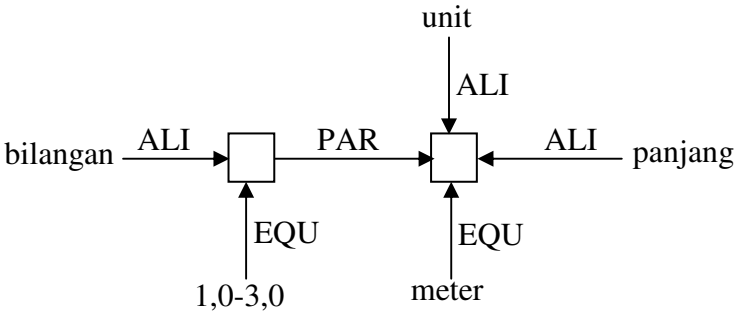
Chunk graph dari frasa ”tinggi gelombang tsunami” berbentuk:



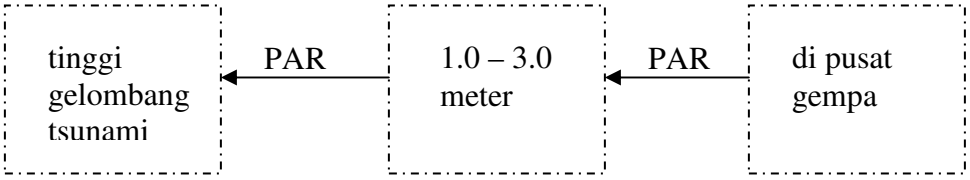
Gambar di atas menunjukkan bahwa fokus dari *chunk graph* ”tinggi gelombang tsunami” tersebut terletak pada token ”tinggi”. Selanjutnya gabungan dua kata depan (preposisi) ”di”, ”pusat” yang disebut frasa preposisi dalam bahasa Indonesia, jika digabung dengan kata benda ”gempa” dapat dinyatakan sebagai berikut:



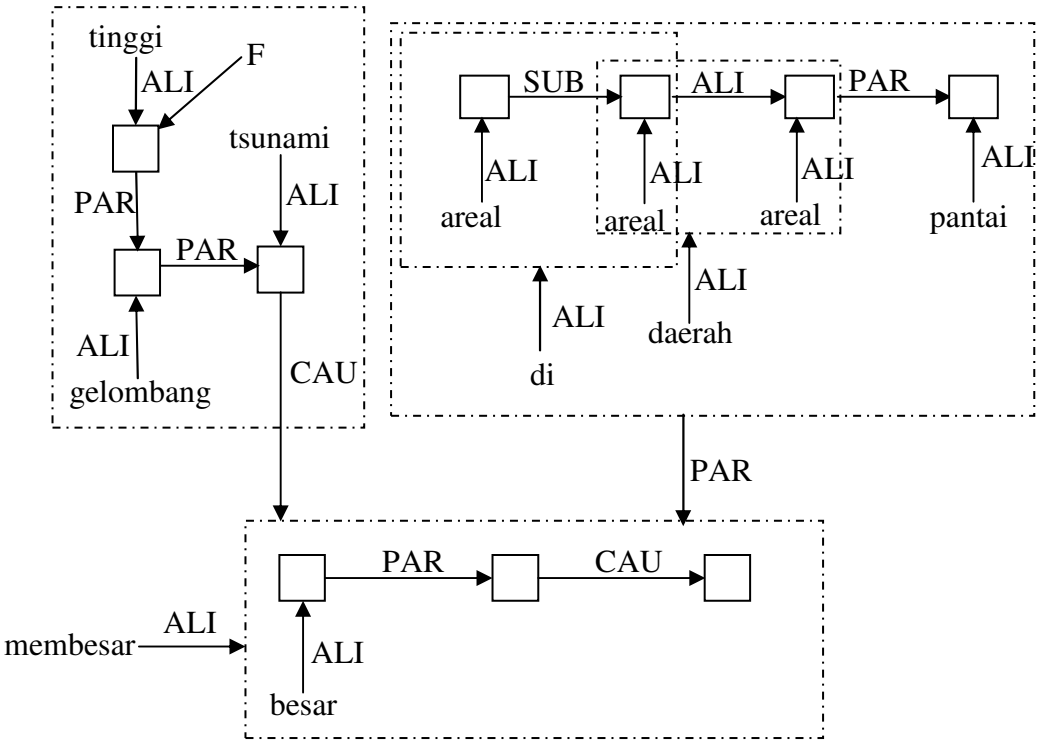
Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa fokus ”di pusat gempa” terletak pada token ”gempa”. Selanjutnya gabungan kata ”1,0 - 3,0” dan ”meter” dapat dinyatakan dengan *chunk graph* berikut



Kedua frasa terakhir ini menjelaskan ’tinggi gelombang tsunami’, dengan demikian memunyai hubungan relasi PAR dengan *frame* ’tinggi gelombang stunami’ seperti berikut:



Dengan cara yang sama yaitu menggabungkan *word graph* masing-masing kata, maka kalimat ”Tinggi gelombang tsunami membesar di daerah pantai” dapat direpresentasikan sebagai berikut :



Pada tahap akhir, informasi terstruktur dari 2 kalimat yang telah dianalisis dapat digunakan untuk mengisi dan melengkapi struktur *template* yang telah ditentukan. Pada tahap ini, seringkali diperlukan *background knowledge* untuk melakukan penalaran dengan cara memperluas konsep atau membuat kaitan antar konsep. Hasil akhir proses pengambilan informasi berupa informasi terstruktur seperti berikut:

KEJADIAN	:	tsunami, gelombang, kejadian alam
PROSES	:	membesar, dipicu
LOKASI	:	pusat gempa, daerah pantai
UKURAN	:	meter
BILANGAN	:	1.0 – 3.0

5. PENUTUP

Penelitian ini menggunakan metode KGExtract untuk mengambil informasi dari teks berbahasa Indonesia. Metode ini, meskipun dibangun atas dasar struktur bahasa Inggris,

namun terbukti efektif untuk diaplikasikan pada teks dalam bahasa Indonesia. Hasil dari metode ini berupa suatu representasi terstruktur dari informasi kunci yang ada dalam teks. Namun di sisi lain, metode ini masih mempunyai kekurangan dalam proses penentuan *template*nya. Pada metode ini penentuan *template* masih bersifat subjektif, karena belum ada aturan yang pasti bagaimana struktur *template* harus dibuat. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dapat diarahkan untuk merancang aturan pembuatan struktur *template* tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi saya berikan kepada Prof. C. Hoede dari Twente University yang telah memperkenalkan konsep KG kepada saya. Ucapan terima kasih juga saya berikan kepada Sdr. Rumsiyati MSi. yang telah membantu dalam penelitian KG ini.

DAFTAR PUSTAKA

[Abney, 1994], S.P. Abney. *Parsing By Chunks*. Bell Communications Research, 1994.

[Cowie & Wilks, 2000] J. Cowie and Y. Wilks. *Information extraction*. In: Handbook of Natural Language Processing (Eds. R. Dale, H. Moisl and H. Somers), New York: Marcel Dekker, 2000.

[Hoede, 1995] C. Hoede. *On the ontology of Knowledge Graphs, in: Conceptual Structures: Application, Implementation and Theory*, (G. Ellis, R. Levinson, W. Rich and J. Sowa, eds.) Springer Lecture Notes in Artificial Intelligence 954, 308-322, (1995).

[Hoede & Nurdiati, 2008a] C. Hoede and S. Nurdiati. *A Graph Theoretical Analysis of Certain Aspects of Bahasa Indonesia*, University of Twente, Memorandum 1870, ISSN: 1874-4850, 2008.

[Hoede & Nurdiati, 2008b] C. Hoede and S. Nurdiati. *On Word Graphs and Structural Parsing*, University of Twente, Memorandum 1871, ISSN: 1874-4850, 2008.

[Nurdiati & Hoede, 2008] S. Nurdiati and C. Hoede. 25 Years Development of Knowledge Graph Theory: The Result And The Challenge, The 3rd International Conference on Mathematics and Statistics (ICoMS-3), Bogor, 2008.

[Popping, 2003] R. Popping. Knowledge graphs and network text analysis, *Social Science Information*, Vol. 42, 91-106, (2003).

[Zhang, 2002] L. Zhang. *Knowledge Graph Theory and Structural Parsing*, PhD Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands, ISBN 90-3651835-0, (2002).

INTEGRASI TEKNOLOGI GIS DAN WEB DALAM KONSERVASI DAN DISEMINASI INFORMASI SPASIAL SUMBERDAYA LAHAN PERTANIAN

Yiyi Sulaeman*, Rizatus Shofiyati, dan Saefoel Bachri

Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Departemen Pertanian
Jl. Juanda 98, Bogor 161432. Tlp. 0251-8323012
Email: y.sulaeman@gmail.com;
yies2001@yahoo.com

Abstrak

Data dan informasi spasial sumberdaya lahan merupakan bahan masukan utama untuk penyusunan kebijakan pertanian tingkat nasional, regional maupun lokal, serta bahan masukan untuk pengelolaan lahan di tingkat pengambil kebijakan maupun kebun dan petani. Data yang diperoleh melalui serangkaian kajian lapangan dan laboratorium umumnya disajikan dalam bentuk laporan dan peta-peta tercetak (*hardcopy*). Bersama waktu, data dan informasi berharga ini mengalami berbagai kendala penyimpanan dan ancaman yang akan merusak informasi yang ada di dalamnya. Teknologi GIS potensial digunakan untuk konservasi informasi tersebut dan teknologi web potensial dimanfaatkan untuk diseminasi informasi spasial yang telah tersedia. Tulisan ini mendiskusikan pendekatan dalam upaya konservasi dan diseminasi informasi spasial sumberdaya lahan pertanian. Pendekatan mencakup empat unsur utama yaitu digitalisasi peta-peta tercetak, *backup* data, standardisasi dan sosialisasi metadata, serta penyebaran informasi spasial secara interaktif baik *offline* (CD Interaktif) maupun *online* (website). Cakupan informasi digital yang telah tersedia dan desain serta isi website juga didiskusikan. Pemanfaatan kedua teknologi tersebut selain dapat memperbaharui data sumberdaya lahan pertanian, sekaligus melestarikan data dan mempercepat diseminasi informasi, yang pada akhirnya mempermudah pengambilan kebijakan pembangunan pertanian.

Keywords: digitalisasi peta, GIS, web, informasi spasial sumberdaya lahan

1. PENDAHULUAN

Data dan informasi spasial sumberdaya lahan pertanian adalah salah satu data dan informasi dasar bagi perumusan kebijakan dan strategi pembangunan wilayah khususnya bidang pertanian jangka panjang, menengah ataupun pendek pada tingkat nasional, regional, ataupun lokal, baik *on farm* maupun *off farm*. Rencana tata ruang wilayah sebagai amanat UU Nomor 24 tahun 2007 tentang Tata Ruang memerlukan masukan antara lain informasi spasial tanah, penggunaan lahan, dan terrain untuk menetapkan pola dan struktur ruang. Pembangunan perkebunan juga memerlukan informasi spasial kesesuaian lahan sebagai bahan dalam studi kelayakannya. Bahkan produksi jenis dan

jumlah pupuk pun memerlukan informasi kalender tanam dan status hara tanah sehingga diperoleh produksi pupuk yang cukup dan tersedia tepat waktu.

Data dan informasi spasial sumberdaya lahan pertanian dihasilkan melalui serangkaian kajian lapangan dan laboratorium yang kemudian umumnya disajikan dalam bentuk peta-peta tercetak dan naskah laporan yang menjelaskan peta tersebut. Peta dan laporan yang menyertainya biasanya disimpan di bagian dokumentasi atau perpustakaan dengan tingkat pengelolaan tertentu yang tentunya berbeda antara pengelola. Bagaimanapun juga kualitas data dan informasi berharga ini cenderung menyusut karena beberapa ancaman, baik terhadap fisik peta maupun terhadap informasi peta. Ancaman terhadap fisik peta berupa hilangnya peta atau rusaknya peta, seperti: robek, terbakar, terkena air, dan lainnya yang sejenis. Sementara ancaman terhadap informasi peta menyebabkan ketidakjelasan akan infromasi peta seperti pudarnya warna dan lainnya yang sejenis. Ancaman-ancaman itu pada dasarnya akan menghilangkan informasi atau mengurangi mutu informasi yang pada akhirnya mengancam kelestarian informasi sumberdaya lahan itu sendiri. Pengelolaan dokumen hanya membantu dalam memperlambat penyusutan ini. Untuk itu perlu dicari cara yang efektif dan efisien dalam tindakan konservasi dan restorasi peta-peta tersebut.

Di samping itu, perlu dikembangkan cara-cara agar data dan informasi yang tersimpan dapat diketahui dan diakses oleh pengguna sehingga data tersebut dapat dimanfaatkan oleh masyarakat luas. Seringkali, data dan informasi yang bernilai tinggi ini, yang diperoleh dengan biaya yang tidak sedikit, tidak diketahui oleh pengguna atau tidak dapat diakses dan dimanfaatkan karena beberapa kendala. Kendala utama dari masalah ini adalah belum adanya kakas (tool) yang membantu untuk diseminasi informasi secara efektif dan efisien. Katalog peta yang tersedia di saat di BBSDLP (yaitu: Katalog-Peta-peta (LPT, 1972), Keadaan Peta Tanah di Indonesia (LPT, 1978), Daftar Peta Sumberdaya Lahan (Puslitanak, 1996), dan Atlas Indeks Peta Digital Sumberdaya Lahan Puslitbangtanak (Puslitbangtanak, 2002) hanya bisa dimanfaatkan hanya jika calon pelanggan datang sendiri ke BBSDLP. Ini tentunya perlu waktu dan biaya tambahan sebelum informasi ketersediaan data didapatkan.

Di lain pihak teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) saat ini juga telah memungkinkan dilakukannya konservasi informasi spasial sehingga ancaman-ancaman tadi dapat dihindari. SIG adalah seperangkat hardware, software, dan sumberdaya manusia yang khusus mengelola dan menganalisis data dan informasi yang berorientasi kebumian. Perangkat lunak SIG mempunyai kemampuan untuk konversi peta-peta kertas tadi ke format digital yang darinya bisa diturunkan informasi-informasi lainnya. Di lain pihak, perkembangan teknologi web yang didukung oleh kemajuan sarana dan prasarana

telekomunikasi akhir-akhir ini telah memungkinkan informasi diketahui dan diakses oleh banyak orang dalam waktu yang singkat. Teknologi ini juga potensial untuk digunakan sebagai sarana menyebarkan informasi data dan informasi sumberdaya lahan. Lebih jauh lagi, tersedia teknologi yang mengintegrasikan kedua teknologi ini berupa webGIS (*see* Mathiyalagan et al. 2005) sehingga peta pun bisa ditampilkan dalam internet.

Data dan informasi sumberdaya lahan perlu tersedia, dikelola, dan didiseminasikan ke khalayak. Untuk maksud itu, diperlukan suatu pendekatan dan metodologi serta alat. Tulisan ini mendiskusikan pendekatan dalam upaya konservasi dan diseminasi informasi spasial sumberdaya lahan pertanian dan akan mendiskusikan alat diseminasi informasi yang telah dikembangkan.

2. PENDEKATAN YANG DIAJUKAN

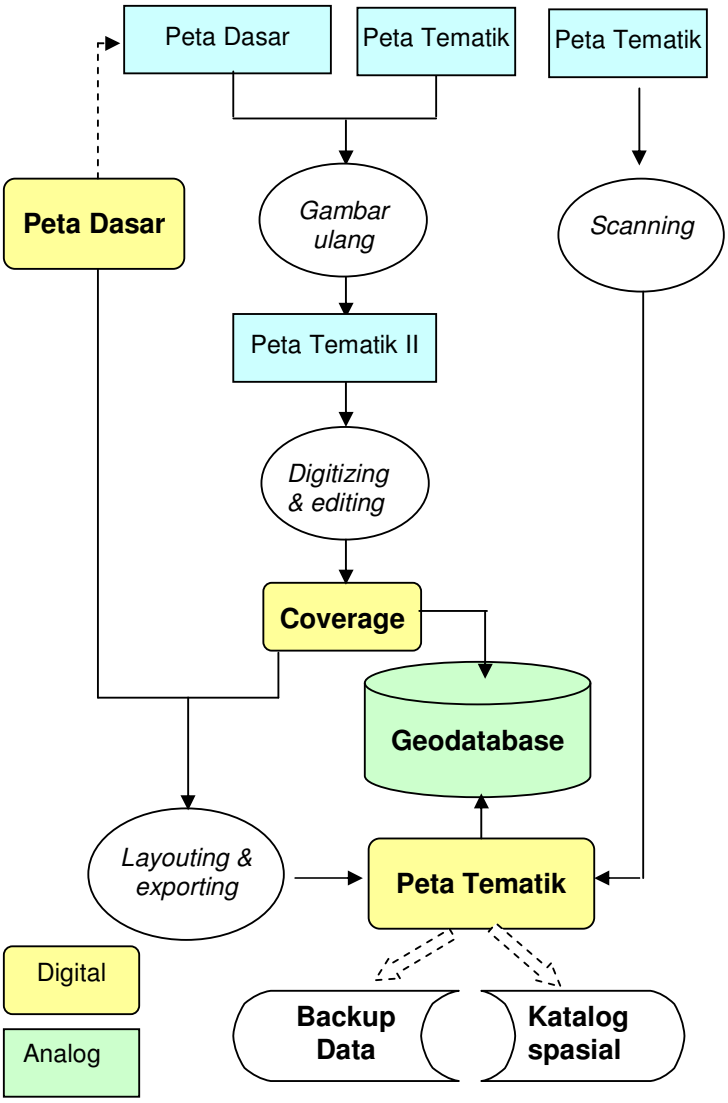
Pendekatan yang dikembangkan seyogyanya diarahkan untuk (i) melestarikan data dan informasi dan (ii) mempercepat diseminasi informasi sumberdaya lahan pertanian. Kedua hal ini pada kenyataannya saling melengkapi dan terkait satu sama lain. Tentunya, suatu tindakan yang tidak bijak menginformasikan data dan informasi sementara data dan informasinya tidak tersedia. Data dan informasi yang tersedia pun dituntut untuk bermutu baik, khususnya jelas dan dapat dipercaya.

Untuk mencapai dua maksud itu, diusulkan empat pendekatan yang diimplementasikan ke dalam empat kegiatan, yaitu: (i) digitalisasi peta analog, (ii) *backup* data, (iii) standarisasi metadata, dan (iv) pengembangan sistem katalog spasial. Setiap pendekatan menggunakan serangkaian teknik yang telah dipilih sehingga lebih efektif dan efisien.

2.1. Digitalisasi peta-peta analog

Digitalisasi adalah istilah umum untuk konversi format peta analog menjadi peta digital (yaitu suatu peta yang dapat ditampilkan atau dianalisis oleh komputer digital). Hasil konversi bisa merupakan peta digital berbasis raster atau vektor tergantung teknik yang digunakan. Hal yang penting dan mendesak dalam melakukan digitalisasi ini adalah penetapan teknik yang akan digunakan yang harus memperhatikan kondisi peta kertas dan penggunaan dari peta itu dalam bentuk digital.

Teknis yang bisa digunakan saat ini adalah dengan *scanning* (penyiaman) dan *digitizing* (digitasi). Gambar 1 menunjukkan diagram alur digitalisasi peta, sebagai satu bagian yang tidak terpisahkan dari *backup* data data, katalog spasial dan pembangunan basisdata spasial.



Gambar 1. Bagan alur digitalisasi peta

2.1.1. *Penyiaman (scanning)*

Digitalisasi peta kertas yang menggunakan teknik penyiaman akan menghasilkan peta digital berbasis raster dalam format tertentu. Format yang disarankan adalah TIFF, PNG, maupun JPG. JPEG/Exif merupakan format file *image* yang umum digunakan pada kamera digital dan alat photografis lainnya bersama dengan JPEG/JFIF untuk menyimpan dan mentransmisi *image* fotografik ke WWW. Selain sebagai format file, JPEG umum digunakan sebagai metode kompresi untuk *image* fotografik. Tingkat kompresi dapat diatur untuk memperoleh keseimbangan antara ukuran penyimpanan dan kualitas *image*.

Sepertti diuraikan dalam Wikipedia (www.en.wikipedia.org) algoritma kompresi JPEG terbaik untuk fotografik dan painting untuk pemandanagan reaslistik dengan variasi

tone dan warna yang sangat halus. Untuk penggunaan web dimana bandwidth yang digunakan oleh *image* sangat penting, JPEG adalag format *image* yang ideal. Sebaliknya, JPEG tidak cocok untuk gambar garis dan grafik tekstual dan ikonik lainnya, dimana kontras yang tajam antara *pixel* yang bersisian menyebakan artifak yang jelas. Untuk *image* seperti ini lebih baik digunakan format TIFF (untuk pengguanaan lokal), GIF atau PNG (untuk pengunaan web).

JPEG juga tidak cocok untuk file yang akan mengalami proses edit yang terus menerus (*multiple edit*), karena beberapa kualitas *image* akan mengalami kehilangan setiap kali *image* di-dekompres atau rekompress. Sangat baik menggunakan non-lossy fortmat seperti TIFF sementara bekerja pada *image* dengan *image* final disimpan dalam JPEG. Dengan *software* SIG, peta-peta digital berbasis raster ini diubah menjadi peta yang berorientasi kebumian sehingga koordinat peta itu dapat diidentifikasi dan hasilnya sesuai dengan koordinat sebenarnya di permukaan bumi. Oleh sebab itu, file hasil konversi ini disebut GeoTiff, GeoPNG, dan GeoJPG.

Pada saat penyiaman, hal yang perlu diperhatikan adalah resolusi penyiaman, tonal resolusi, dan file format ketika menyimpan. Shawa (2006) melaporkan beberapa organisasi menggunakan resolusi dan file format yang berbeda. The Library of Congress menyiam material kartografi pada 300 dpi dengan resolusi tonal 24-bit warna dan disimpan dalam format file TIFF non-compressed. The British Ordnance Survey (OS) menyiam peta antara 254 dpi dan 400 dpi dengan 256 warna dan disimpan dalam format non-compressed TIFF. USGS menyiam petanya 250 dpi (sebelum oktober 2001) dan 500 dpi (setelah oktober 2001) dengan 13 warna.

Shawa (2006) di Princenton University telah mencoba membandingkan perubahan hasil visual dari peta yang dilakukan *scanning* menggunakan resolusi yang berbeda. Penyiaman 500 dpi dengan 24-bit warna menghasilkan ukuran file 441 MB; 400 dpi dengan 24-bit warna menghasilakn 278 MB dan 400 dpi dengan 256 warna menghasilkan 96, 2 MB. Dari ketiga hasil *scanning* tersebut, penyiaman pada 400 dpi dengan 256 warna adalah paling efisien, mengingat penyimpanan peta bermaksud untuk melestarikan informasi peta untuk penggunaan SIG selanjutnya.

Shawa (2006) juga mencoba rasio kompresi terbaik untuk meng-*encode* file TIFF ke JP2 format. Hasilnya menunjukkan bahwa rasio 10:1 merupan rasio kompresi terbaik dalam hal hasil visual dan ukuran file. Peta-peta yang disiam pada 400 dpi dengan 256 warna dan disimpan dalam non-compressed TIFF format file untuk tujuan pengarsipan. *Image* TIFF untuk selanjutnya dikompresi menggunakan GeoJP2 software ke dalam JP2 dengan rasio kompresi 10:1 untuk akses *online*.

Peta-peta hasil penyiaman ini dapat juga langsung dicetak menggunakan printer. Palacios (2008) menguraikan keterkaitan resolusi printer dan peta digital. Pada proses pencetak ini, perangkat lunak printer mentranslasikan *pixel* ke ink dots, itulah mengapa resolusi printer diekspresikan dalam dpi (*dots per inch*). Angka dpi menentukan kualitas printer itu. Secara umum, semakin tinggi angka dpi semakin halus gradasi tonal dalam printer, semakin halus definisi dan semakin lebar gamut warna. Sementara itu, peta hasil *scanning* dinyatakan dalam ppi (*pixels per inch*). Tabel 1 dan 2 menyediakan acuan antara ukuran *pixel* dengan ukuran tercetak.

Tabel 1. Acuan untuk ukuran *image* terbaik untuk ukuran print dari gasil scanan

Ukuran *Image* (*Pixel*s)	M*pixel* rating	Ukuran (inches) tercetak	
		200 ppi	300 ppi
640 x 480	0.3	3.2 x 2.4	2.1 x 1.6
1,024 x 768	0.8	5.1 x 3.8	3.4 x 2.5
1,280 x 960	1.2	6.4 x 4.8	4.2 x 3.2
1,504 x 1,000	1.5	7.5 x 5.0	5.0 x 3.3
1,632 x 1,224	2.0	8.2 x 6.1	5.4 x 4.1
2,000 x 1,312	2.6	10.0 x 6.6	6.7 x 4.4
2,240 x 1,488	3.3	11.2 x 7.4	7.5 x 5.0
2,275 x 1,520	3.5	11.4 x 7.6	7.6 x 5.1
2,272 x 1,704	3.9	11.4 x 8.5	7.6 x 5.7
2,590 x 1,920	5.0	13.0 x 9.6	8.6 x 6.4
3,008 x 2,000	6.0	15.0 x 10.0	10.0 x 6.7
4,256 x 2,848	12.1	21.3 x 14.2	14.2 x 9.5
4,536 x 3,024	13.7	22.7 x 15.1	15.1 x 10.1
5,782 x 3,946	22.8	28.9 x 19.7	19.3 x 13.2

Sumber: Palacios, 2008

Tabel 2. Acuan ukuran *image* terbaik untuk ukuran cetak standar

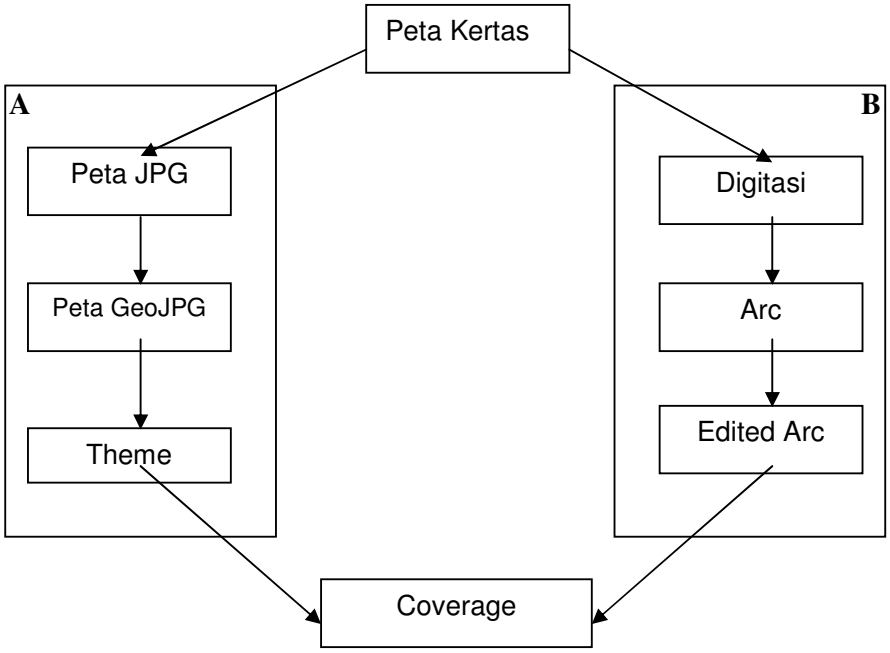
Ukuran *image* (*Pixel*s)	M*pixel* rating	Ukuran tercetak (inches) at 300ppi
.		
1,050 x 1,500	1.575	3.5 x 5
1,200 x 1,800	2.160	4 x 6
1,500 x 2,100	3.150	5 x 7
1,800 x 2,400	4.320	6 x 8
1,800 x 2,550	4.590	6 x 8.5
2,400 x 3,000	7.200	8 x 10
2,400 x 3,600	8.640	8 x 12
3,300 x 4,200	13.860	11 x 14
4,800 x 6,000	28.800	16 x 20
6,000 x 7,200	43.200	20 x 24

Sumber: Palacios, 2008

2.1.2. *Digitasi (Digitizing)*

Cara lain mengubah data analog menjadi data digital adalah digitasi yang menghasilkan peta berbasis vektor. Digitasi manual mengacu pada registrasi kursor dari serangkaian titik-titik di sepanjang garis-garis pada peta melalui gerakan koordinat dari serangkaian posisi-posisi kursor tersebut selanjutnya direkam (Kraak dan Ormeling, 2007). Dalam digitasi ini masukan secara manual masih dalam prosedur sehingga tingkat kebenaran hasil akhir dipengaruhi oleh *human error* dan akurasi peta-peta aslinya.

Digitasi dapat dilakukan dengan teknik digitasi layar ataupun digitasi meja. Tahapan kegiatan dari kedua teknik ini dapat dilihat pada Gambar 2. Pada teknik digitasi layar, peta kertas harus disiam dulu menjadi peta berbasis raster misalnya dalam format JPEG dan kemudian diregistrasi menjadi GeoJPEG. Digitasi sendiri dilakukan dalam software SIG misalnya ArcView GIS dan Global Mapper. Sementara itu dengan digitasi meja, tidak ada tahap penyiaman tetapi peta kertas diletakkan dalam meja dan selanjutnya dilakukan dijitasi, dengan bantuan software ArcInfo, atau IDRISI, dll. Kedua teknik ini sama-sama menghasilkan arc atau peta berbasis vektor misalnya dalam bentuk coverage yang dapat dibuka di ArcView ataupun ArcInfo maupun software lainnya.



Gambar 2. Diagram alur digitasi peta kertas:digitasi layar (A) dan digitasi meja (B)

2.2. *Backup* data

Pada prinsipnya *backup* data dapat diartikan sebagai menempatkan suatu data pada media dan tempat (resipotary) sebanyak mungkin. Namun, pada pelaksanaannya

backup data lebih dari sekadar duplikasi data tetapi perlu disubaut dalam suatu susunan tertentu, yang meliputi beberapa persyaratan dan prosedur. Beberapa faktor penting yang perlu yang mempengaruhi baik buruknya *backup* data adalah format data, media penyimpanan, tempat penyimpanan media, dan sistem direktori.

2.2.1. Format data

Peta merupakan rekaman kondisi permukaan bumi dan interpretasinya yang disimpan dalam suatu permukaan dua dimensi. Untuk keperluan *backup* data, data dan informasi dapat dibedakan atas peta analog dan peta digital. Peta analog merupakan peta *hardcopy* dalam wujud peta kertas atau peta klise.

Peta digital didefinisikan sebagai *"a computer-readable representation of a geographic area or phenomenon that can be displayed or analyzed by a digital computer*". Menurut formatnya peta digital ini berbeda-beda, seperti format JPG, BMP, SHP, DAT, WMF yang dengan mudah dapat dilihat dari ekstensi filenya. Kelebihan dari peta format digital ini antara lain peta mudah direproduksi, mudah di*backup*, dan mudah ditransfer kepada pengguna secara efisien baik waktu maupun biaya.

Sementara itu peta digital adalah peta-peta yang disimpan dan diolah dianalisis menggunakan program komputer. Peta digital dapat dibedakan atas peta digital statis dan peta digital dinamik tergantung representasinya. Peta-peta dalam bentuk raster merupakan peta statis dan dalam bentuk vektor merupakan peta digital dinamis karena dapat diubah baik bentuk dan warnanya.

Dari pengetahuan akan format data, dapat ditentukan teknik dalam *backup* data. Untuk peta analog *backup* data dilakukan hanya dengan membuat copy atau mencetak (print lebih dari satu untuk peta-peta yang sejenis sehingga *backup* dinyatakan dalam lembar yang sama. Sementara itu untuk data digital *backup* data hanya dengan duplikasi file dan menyimpannya di media penyimpanan sehingga duplikasi dihitung berapa sering dan berapa ukuran filenya.

Format data juga menentukan kemudahan dalam reproduksi, pengiriman data (*delivery*), serta analisis data (khususnya pembaruan dan penurunan informasi). Perlu proses yang lama untuk mereproduksi peta kertas apabila peta itu sudah habis sementara masih banyak diperlukan. Untuk reproduksi manual perlu dilakukan minimal penggambaran ulang, pewarnaan, pelabelan, dan pengemasan. Sementara itu, pengiriman lebih lambat karena harus melibatkan pihak ketiga seperti kantor pos dan jasa titipan. Dalam analog hampir dipastikan data susah diolah dan lama karena memerlukan proses-proses yang hanya dapat dilakukan oleh tenaga yang berpengalaman.

Sebaliknya data digital sangat mudah diproduksi yaitu mudah dicetak, dikirim ke pengguna dengan mengcopy file atau dikirim menggunakan jaringan seperti internet. Untuk ke depan dan memperhatikan jumlah data yang semakin meningkat dalam jenis dan jumlah, maka format ini akan semakin populer, termasuk konversi dari peta analog ke peta digital

Data dan informasi digital maupun analog disimpan dalam suatu media penyimpanan. Data dan informasi dalam format digital bisa disimpan dalam bentuk file di dalam *hard disk*, *compact disk*, maupun *digital video disk*. Sementara, data dan informasi analog disimpan dalam kertas, ozaphan (klise), ozalid (cetak biru) yang disimpan di lemari kabinet maupun atlas peta dan buku. Kerusakan pada data digital bisa disebabkan karena virus, selain alat penyimpanan yang bisa hilang maupun rusak secara fisik. Kerusakan pada data analog bisa berupa warna yang berubah atau pudar, sobek, kotor maupun hilang. Pengumpulan data dan penurunan informasi ini tentunya telah menyita waktu dan biaya yang cukup banyak, selain datanya sendiri yang memang diperlukan untuk berbagai tujuan guna meningkatkan kesejahteraan manusia. Karena itu, data tersebut perlu di*backup* yang disesuaikan dengan format datanya: copy file untuk data digital dan copy media penyimpanannya dan copy dokumen untuk data analog. Upaya ini diharapkan dapat mempertahankan kelesatarian data dan informasi tersebut sehingga dapat lebih didayagunakan dan diambil manfaatnya oleh banyak orang.

2.2.2. Media penyimpanan

Media penyimpanan adalah tempat menyimpan hasil duplikasi. Untuk peta-peta analog peta-peta disimpan dalam kotak atau laci-laci meja kabinet dan rak-rak buku. Untuk peta-peta digital tersedia media penyimpanan dengan spesifikasi kemampuan isinya. Media penyimpanan itu adalah hardisk, compact disk (CD), digital versatile disk (DVD), flashdisk, pita, dan lainnya.

Masing-masing media mempunyai kelebihan dan kekurangan. Meja kabinet dan rak buku untuk menyimpan duplikasi peta perlu ruang yang luas, sebaliknya CD mampu menyimpan data yang banyak dan tidak terlalu memerlukan ruang. Semakin banyak data semakin banyak ruang yang diperlukan untuk menyimpan rak buku dan meja, rak peta yang juga menuntut pengawasan dan perawatan. Sementara untuk media penyimpanan peta digital data yang banyak disimpan dalam ruang yang sedikit.

2.2.3. Tempat penyimpanan media

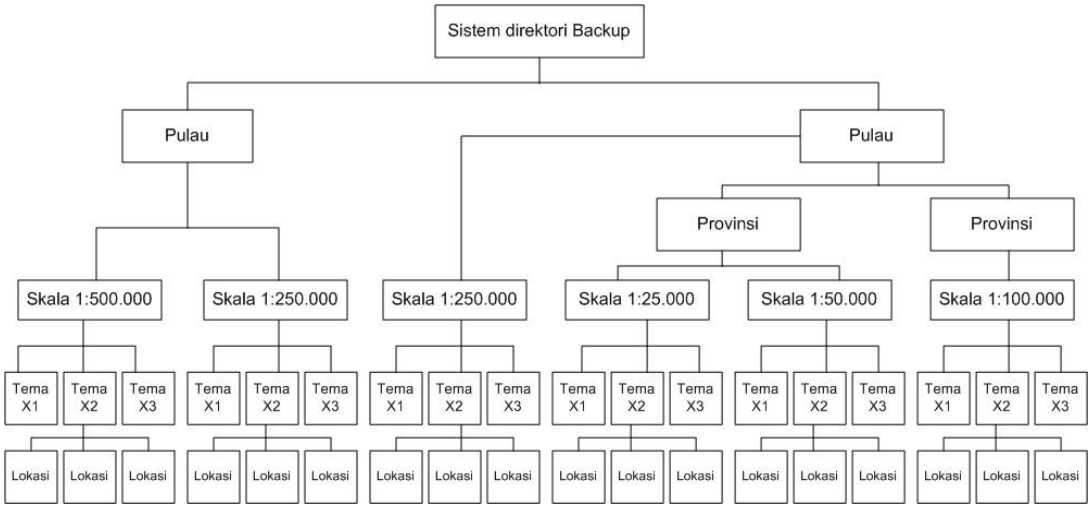
Tidak hanya media penyimpanan yang penting tapi tempat penyimpanan media juga penying untuk diperhatikan. Tempat penyimpanan terutama harus aman dari

kemungkinan pencapaian orang yang tidak bertanggung jawab maupun kemungkinan gangguan lain seperti kebakaran dan kebanjiran.

Di BBSDLP mengenal empat resipotary data dan informasi, yaitu: peneliti, kelompok peneliti, Bagian Dokumentasi dan Perpustakaan (untuk data analog), dan Instalasi Basisdata (untuk data digital). Masing-masing mempunyai otoritas dan jenis data tersendiri. Media penyimpanan diduplikasi dan disimpan di setiap *resipotery* ini.

2.2.4. Sistem Direktori

Seperti ditekankan sebelumnya, *backup* data juga harus didesain sedemikian rupa mudah dalam penelusurannya. Untuk itu perlu dibuat suatu sistem direktori yang membantu memudahkan dalam penelusuran. Berdasarkan pengamatan terhadap pemesanan data, para pelanggan umumnya menanyakan peta tematik menurut daerah administrasi. Misalnya peta tanah Kalimantan Timur. Maka dari itu sejak tahun 2006 sistem direktori di BBSDLP disusun seperti pada Gambar 3. Pada kategori tertinggi adalah nama pulau, dilanjutkan oleh provinsi, kemudian skala, tema dan lokasi. Label-label pada media penyimpanan juga mencerminkan sistem direktori ini.



Gambar 3. Sistem direktori back up data (sumber: Shopiyati, 2008)

2.3. Penyusunan Metadata

Metadata adalah informasi mengenai isi, kualitas, kondisi, dan karakteristik lainnya dari data. Istilah metadata nasional erat kaitannya dengan pelaksanaan Jaringan Data Spasial Nasional (JDSN). Melalui JDSN ini diharapkan dapat diwujudkan suatu pola komunikasi baru dalam penyebarluasan data dan informasi spasial yang dapat dengan cepat menjangkau semua lapisan masyarakat, sehingga dapat diintegrasi untuk pembangunan nasional.

Pelaksanaan JDSN diatur berdasarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 85 Tahun 2007. JDSN yang dikoordinasi oleh Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal) beranggotakan 14 Departemen, Kementrian Negara, Lembaga Pemerintahan Non Departemen (Survei dan Pemetaan, Pertanahan, Pemerintahan Dalam Negeri, Perhubungan, Komunikasi dan Informatika, Pekerjaan Umum, Kebudayaan dan Kepariwisataan, Statistik, Energi dan Sumberdaya Mineral, Kehutanan, **Pertanian**, Kelautan dan Perikanan, Meteorologi dan Geofisika, serta Antariksa dan Penerbangan), Pemerintah Provinsi dan Kabupaten/Kota yang disebut sebagai simpul jaringan. Simpul jaringan ini bertanggung jawab sebagai penyelenggaraan, pengumpulan, pemeliharaan, pemutakhiran, pertukaran, dan penyebarluasan data spasial di bidang yang sesuai dengan kewenangannya. Custodianship (wali data) merupakan unsur yang sangat penting di dalam pengembangan infrastruktur data spasial karena berkaitan dengan kepemilikan dan kewenangan membuat data dan agar data tersedia dan dapat diakses oleh masyarakat pengguna.

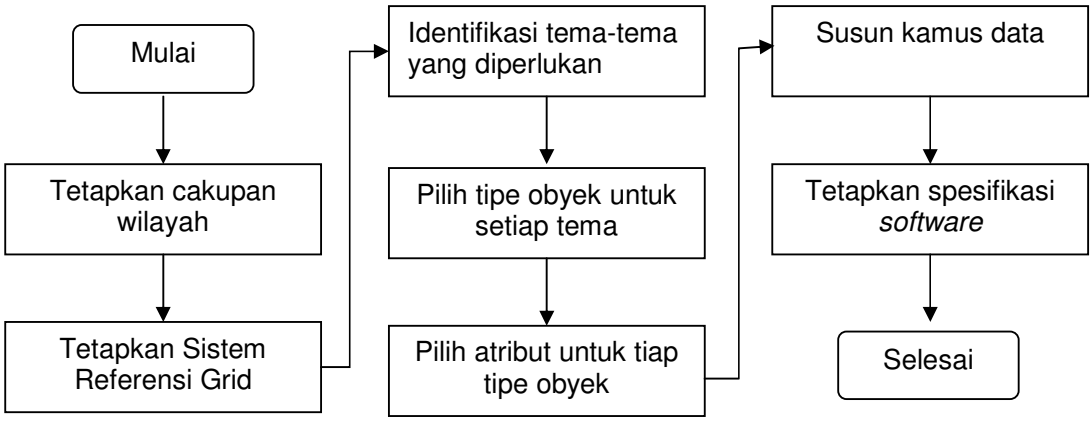
2.4. Katalog spasial berbasis webGIS

Katalog spasial mendaftar peta-peta sumberdaya lahan pertanian yang ada di Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. Berdasarkan data yang terback up hingga saat ini telah terinventarisasi 24 tema peta sumberdaya lahan pertanian (Lampiran 1), yang kemudian dibedakan lagi menurut skala dan lokasi seperti daerah administrasi. Biasanya calon pengguna peta meminta tema peta, lokasi dan skala yang tersedia. Informasi ketersediaan ini menjadi mahal karena hingga saat ini informasi itu hanya dapat diperoleh dengan jelas bila pelanggan datang sendiri ke BBSDLP. Keberadaan kakas yang dapat memberikan informasi itu secara cepat dan murah tentunya sangat membantu dalam mempercepat penyediaan informasi spasial ini.

Katalog spasial berbasis webGIS adalah katalog yang menampilkan peta administratif dan lokasi-lokasi peta serta linking antara lokasi itu dengan atributnya. Katalog spasial ini dapat diakses menggunakan web browser (internet eksplorer, netscape, mozilla, dan lain-lain). Teknologi WebGIS saat ini telah memungkinkan untuk menampilkan peta dalam web sehingga peta tersebut dapat diakses secara online oleh para calon pengguna. Cara ini pula memungkinkan para calon pengguna untuk mengetahui keberadaan tema peta, lokasi dan skala dari mana saja dan kapan saja dalam waktu yang singkat dalam hitungan menit.

Untuk memperoleh Katalog Spasial berbasis WebGIS ini, beberapa tahapan termasuk perancangan, pemasukan data, dan penulisan program. Perancangan keperluan data dan antar muka katalog spasial ini mengikuti tahapan yang diuraikan oleh

Sulaeman et al (2008) dengan modifikasi seperlunya seperti disajikan pada Gambar 4 ditambah perancangan antaramuka pengguna.



Gambar 4. Diagram alir perancangan basisdata spasial

Katalog spasial ini menampilkan data seluruh kepulauan Indonesia dengan menggunakan sistem referensi geografis. Tema-tema yang digunakan, tipe serta atribut seperti disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Katalog spasial ini dikembangkan dalam lingkungan perangkat lunak open source sehingga memudahkan untuk pengembangan selanjutnya. Antarmuka WebGIS yang dipilih ALOV (www.alov.org); untuk database dipilih MySQL (www.mysql.com) dan untuk memprogram situs webdinamis dipilih PHP (www.php.net). Software-software tersebut dan juga manualnya dapat diunduh secara gratis di internet. Untuk bertukar pikiran dan berdiskusi antara pengguna sofware itu tersedia pula forum diskusi.

Tabel 3. Rancangan katalog peta digital

No	Tema	Tipe Objek	Atribut
1	Batas Provinsi	Poligon	-id -nama_provinsi
2	Indeks 250000	Poligon	-Nomor_sheet -Nama_sheet -Tema -Provinsi -Tahun -Proyek

Tabel 4. Rancangan katalog peta analog

No	Tema	Tipe Objek	Atribut utama*
1	Batas Provinsi	Poligon	-id -nama_provinsi
2	Lokasi skala 1:25.000	Poligon	-id -lokasi -tahun survey -pelaksana -peta tersedia**
2	Lokasi skala 1:50.000	Poligon	- id -lokasi -tahun survey -pelaksana -peta tersedia**
2	Lokasi skala 1:100.000	Poligon	id -lokasi -tahun survey -pelaksana -peta tersedia**
2	Lokasi skala 1:250.000	Poligon	- id -lokasi -tahun survey -pelaksana -peta tersedia**

**) atribut cukup banyak terutama atribut bawaan software*
***) mengacu pada jenis peta yang tersedia pada Daftar Peta Sumberdaya Lahan (Puslittanak, 1996)*

Selain berbasis peta, dilengkapi pula olah katalog non-spasial berupa tanel dengan atribut: No_CD, Tema, skala, lembar, lokasi, coverage. Penelusuaran dapat dilakuan berdasarkan lokasi, tema, maupun skala. Hal ini untuk mengantisipasi pengguna yang tidak familiar dengan webGIS atau bermasalah ketika *uploading* data. Juga, daftar ini diperlukan oleh internal staff untuk mencari CD dimana data dimaksud berada.

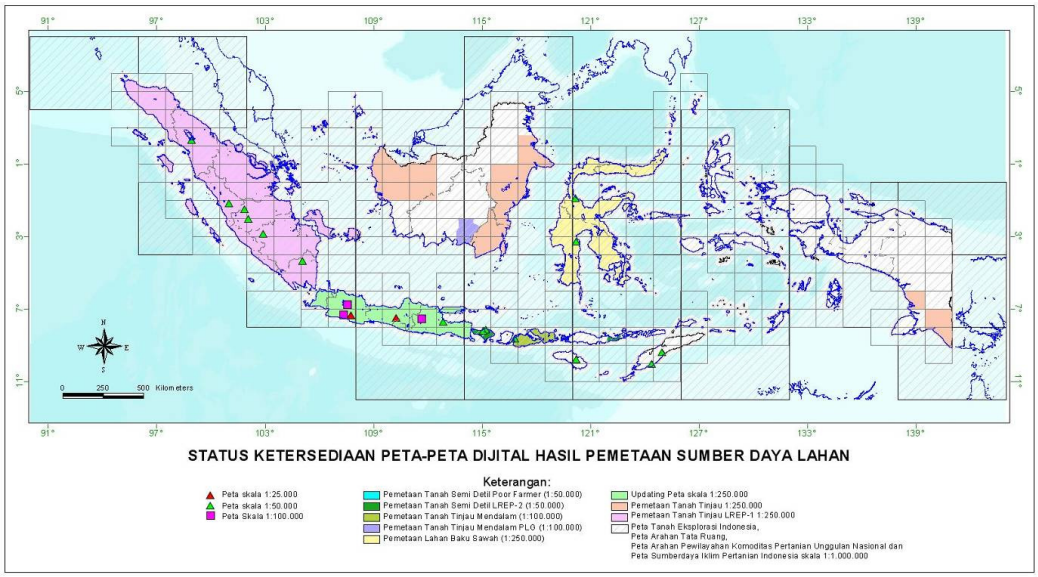
Mengikuti rancangan pada Tabel 3 dan 4, pemasukan data menggunakan teknik digitasi untuk peta-peta lokasi dan data atributnya dimasukkan pada MS Excell. Setelah selasai keduanya kemudian digabungkan menggunakan id lokasi selain juga menjadi masukan ke MySQL. Setelah data tersedia kemudian dilanjutkan dengan penulisan program untuk membuat halaman-halaman web dinamis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Status Peta Digital

Peta digital yang ada di BBSDLP selain dibuat melalui konversi format peta analog juga dibuat pada kegiatan pemetaan yang telah memafaatkan teknologi SIG. Gambar 5 menunjukkan cakupan peta-peta digital sumberdaya lahan pertanian di BBSDLP. Pada

Gambar 5 ini nampak kawasan timur Indonesia belum semuanya mempunyai peta digital tapi bukan berarti tidak ada peta sumberdaya lahan pertanian di daerah itu. Peta-peta yang tersedia masih dalam format analog.



Gambar 5. Peta status ketersediaan peta-peta dijital sumberdaya lahan (Sumber: Shofiyati, 2008)

Digitalisasi peta yang dilaksanakan di BBSDLP tidak hanya dilakukan dengan scanning tetapi juga dengan digitasi. Pada kegiatan digitasi ini hanya tema peta yang didigitasi sedangkan peta dasar yang digunakan menggunakan Peta Rupabumi Indonesia, yang berbeda dengan peta dasar yang digunakan dari peta dasar yang digunakan pada peta aslinya. Pada kenyataannya, tidak efisien dari segi teknik dan waktu memindahkan tema peta dengan peta dasar baru dengan hanya sekadar mengoverlay peta itu ke peta dasar baru. Ini telah dilakukan pada saat digitalisasi peta kesesuaian dan potensi lahan Kelapa Sawit dan Tebu pada kegiatan tahun ini.

Untuk mengatasi masaah itu, peta dasar baru (yaitu peta rupabumi) diprint terlebih dahulu terutama sungai, jalan, garis kontur, serta nama tempat). Tema peta kemudian digambar ulang pada peta dasar baru untuk selanjutnya didigitasi. Selain itu, peta batas adaministrasi juga disesuaiakan dengan batas administrasi terbaru. Pelaksanaan otonomi daerah telah menyebabkan adanya daerah administrasi baru hasil pemekaran baik provinsi, kabupaten, kecamatan bahkan desa dan kelurahan. Perubahan peta dasar ini dalam rangka pelaksanaan kesepakatan penggunaan peta dasar yang sama untuk semua instansi pembuat peta, antara lain Puslitbang Geologi, Bakosurtanal, BPN, dan lainnya.

3.2. *Backup* data

Kegiatan *backup* data di BBSDLP telah mulai dilakukan sejak tahun 1996 dan harus terus dilaksanakan selama pengumpulan data dan penurunan informasi baru masih dilakukan. Shofiyati et al (2007) yang mengevaluasi kondisi *backup* data melaporkan beberapa hal. *Pertama*, sistem yang digunakan dalam *backup* data yang tidak sama yang akibatnya penelusuran data yang telah dilakukan *backup* tersebut sulit dilakukan. *Kedua*, data lama di-*backup* secara tidak terstruktur. Untuk memudahkan penelusuran, data tersebut harus dibenahi lagi sehingga lebih terstruktur. *Ketiga*, masih banyak data lama yang belum ter-*backup*. Mulai tahun 2006 *backup* data dilakukan menggunakan sistem dan hirarki yang lebih terstrukur, seperti disajikan oleh Shofiyati et al (2007).

Dengan system *backup* terbaru ini, sejak tahun 2006 telah dihasilkan 61 CD *backup*, 10 CD (kegiatan 2006) dan 51 CD (kegiatan 2007). CD *backup* ini akan bertambah pada kegiatan 2008, yang juga mem*backup* data-data pendukung seperti peta RBI dan geologi. Meskipun demikian, *backup* data mash perlu terus dilakukan karena data-data masih banyak yang belum terinventarisasi dan belum siap unttuk *backup* digital karena peta-peta masih dalam format analog sehingga perlu didigitalkan terlebih dahulu.

Teknologi media penyimpanan pada kenyataanya berkembang pesat. DVD merupakan media penyimpanan yang menjanjikan di masa yang akan datang dalam hal kapasitas penyimpanan data. Namun demikian media ini belum sepenuhnya digunakan karena dukungan hardware dan software yang belum begitu siap seperti antara lain proses pengkopian yang relatif lebih lambat.

3.3. Metadata

Sebagai institusi penghasil data spasial sumberdaya lahan di lingkup Departemen Pertanian, BBSDLP mempunyai peranan aktif dan menjadi salah satu wali data yang menjadi simpul JDSN. Pembangunan metadata ini menggunakan Standar Nasional Indonesia (RSNI2) metadata spasial yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN). Kegiatan Metadata di BBSDLP dimulai tahun 2002, sejalan dengan dimulainya kegiatan metadata di Indonesia. Secara 'de Facto' metadata yang digunakan mengacu pada standard metadata dari FGDC (Federal Geographic Data Committee) - Amerika Serikat yang tertuang dalam suatu dokumen Content Standard for Digital Geospatial Metadata (FGDC-STD-001-1998) dipublikasikan Juni 1998. Selanjutnya, Standar Metadata Nasional baru direncanakan akan menggunakan ISO 19115.

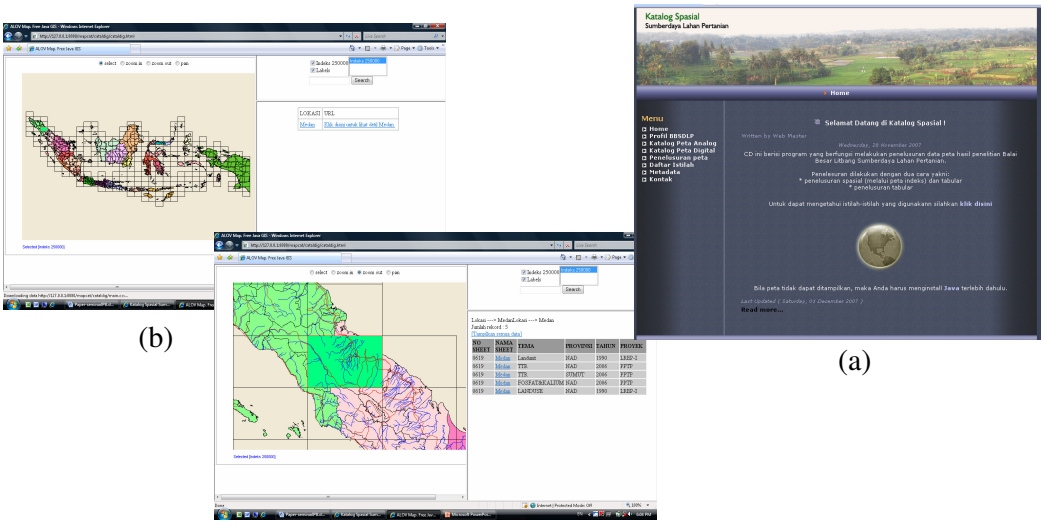
Untuk meningkatkan pelayanan kepada masyarakat, sampai tahun 2007, BBSDLP telah meng*upload* sebanyak 701 *records* metadata dari data spasial sumberdaya lahan yang dihasilkannya. File metadata tersebut tersimpan dalam format XML dan HTML.

Informasi mengenai metadata BBSDLP dapat diakses melalui website: Http://clearinghouse.bakosurtanal/go.id:8080/clearinghouse/srv/id/main.home

Selain itu beberapa metadata telah tersedia dalam dokumen tercetak adalah: Atlas Tanah Explorasi dan Arahan Tataruang (Sekretariat IDSN, 2006), Atlas Tanah untuk Tanaman skala 1:50.000 dan Atlas Tanah Explorasi skala 1:1.000.000 (Sekretariat IDSN, 2006), dan Peta Penggunaan Lahan skala 1:250.000 dan kesesuaian lahan untuk tanaman skala 1:50.000 (Sekretaariat IDSN, 2007)

3.4. Katalog Spasial Sumberdaya Lahan

Implementasi dari rancangan katalog itu menghasilkan sebuah katalog offline (untuk sementara) dengan tampilan menu utama seperti pada Gambar 6a. Pada menu utama dapat dilihat beberapa submenu yaitu:Profil BBSDLP, Katalog Peta Digital, Katalog Peta Analog, dan Penelusuran Peta, Metadata, dan daftar istilah. Klik terhadap sub-sub menu itu akan memberikan tampilan sesuai menunya masing-masing.



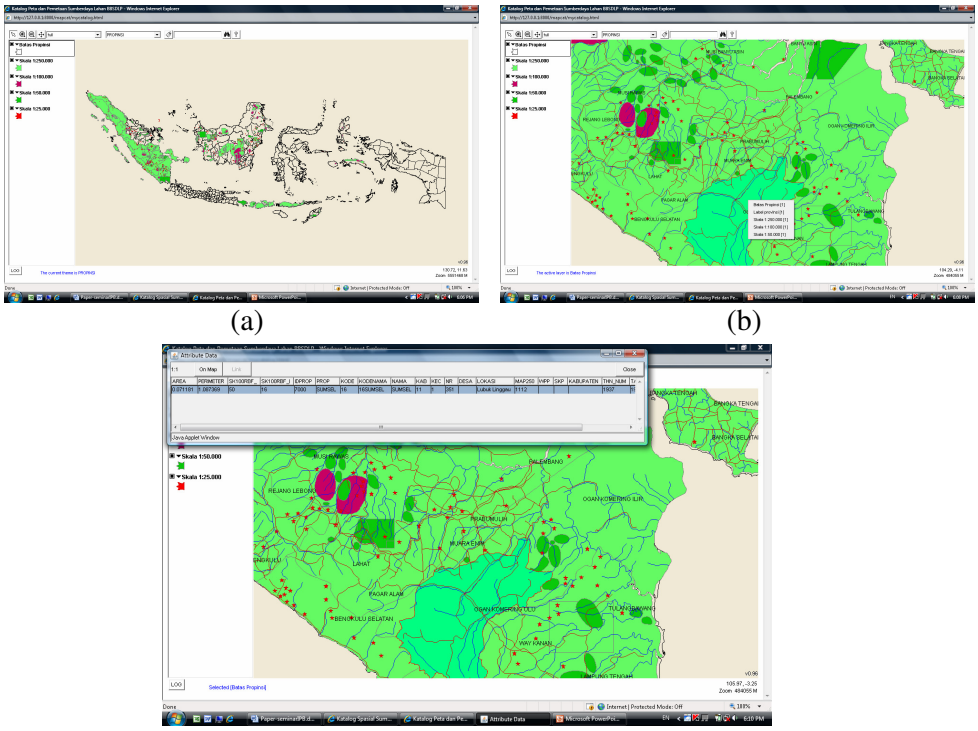
(b) (a) (c)

Gambar 6. Tampilan menu utama (a), katalog peta digital (b) dan atribut katalog

Gambar 6b menunjukkan tampilan bila submenu Katalog Peta Digital diklik. Pada tampilan itu muncul peta administratif Indonesia yang overlay dengan indeks peta 1:250.000 Bakosurtanal. Indeks itu merupakan indeks yang diacu secara nasional. Klik terhadap satu kotak akan memunculkan label yang link ke data atibutnya seperti disajikan pada Gambar 6c.

Untuk mengetahui ketersediaan peta-peta analog yaitu peta-peta dalam bentuk peta kertas dan peta klise dapat diklik Katalog Peta Analog dalam Menu Utama. Klik ini akan

menampilkan tampilan seperti Gambar 7a. Dalam tampilan, nampak lokasi-lokasi peta yang dibagi menurut skala yaitu skala 1:25.000, skala 1:50.000, skala 1:100.000 dan skala 1:250.000. Klik terhadap lokasi yang dimaksud akan menunjukan label-label pemilihan skala, yang apabila dipilih skala tertentu akan keluar data atribut. Gambar 7b menyajikan display pilihan untuk menampilkan keterangan pada skala tertentu dengan atribut seperti disajikan pada Gambar 7c.

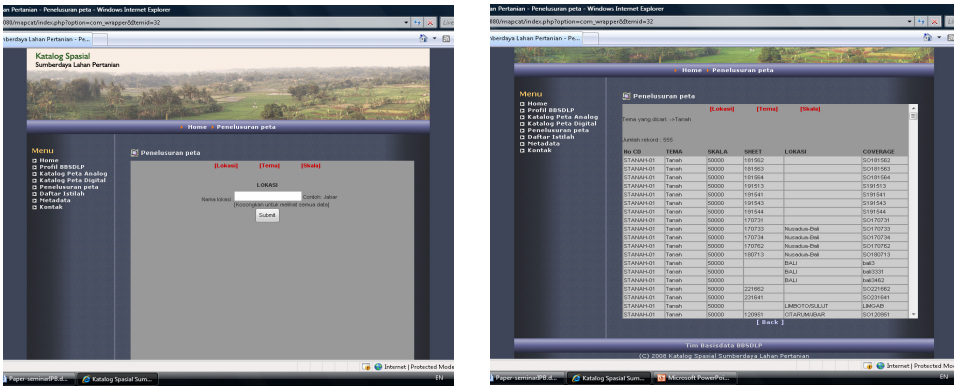


(a) (b)

(c)

Gambar 7. Tampilan katalog peta analog (a) dan atribut katalog (b)

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 ditunjukkan bagaimana penelusuran data dengan klik pada peta. Pada Katalog Spasial ini juga dilengkapi cara penelusuran peta tanpa melitbatkan peta tetapi hanya penelusuran menggunakan database. Fasilitas ini dapat diaktifkan dengan klik Penelusuran Peta dan menampilkan menu pencarian seperti Gambar 8a. Pada gambar tersebut disediakan pilihan penelusuran apakah berdasarkan lokasi, berdasarkan tema peta ataupun berdasarkan skala. Hasil pemilihan akan mengeluarkan tampilan informasi seperti Gambar 8b.



(a) (b)

Gambar 8. Tampilan penelusuran peta menurut katalog nonspasial

Proses pembuatan katalog spasial ini sepenuhnya menggunakan perangkat lunak open source, seperti ALOV, PHP, dan MySQL. ALOV merupakan perangkat lunak yang fungsi utama dalam kegiatan ini untuk menampilkan peta dan dapat ditelusuri di web. Namun demikian ALOV ini sendiri tidak untuk membantu membuat peta tetapi hanya untuk menampilkan peta. ALOV bukan satu-satunya software webGIS open source. Software lain yang bisa digunakan antara lain Mapserver dan MapWindow.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Permintaan pengguna peta sumberdaya lahan pertanian baik untuk penyusunan kebijakan, perencanaan strategis dan perencanaan taktis mensyaratkan peta-peta untuk ada dan tersedia serta dapat diakses dengan mudah, cepat dan murah. Upaya pelestarian peta melalui digitalisasi dan *backup* data perlu didukung oleh cara-cara baru yang lebih efektif dan efisien yang tetap memanfaatkan teknologi tersedia baik komputer, informatika dan telekomunikasi. Selain itu cara-cara diseminasi informasi peta yang perlu dukungan metadata, jejaring metadata dan katalog spasial perlu terus dikembangkan.

BBSDLP telah mulai dan melaksanakan program digitalisai peta, *backup* pengembangan metadata dan pengembangan katalog spasial dengan cara-cara yang terkini memanfaatkan teknologi telekomunikasi dan webGIS. Opensource program baik webGIS (ALOV), pemograman web (PHP) dan tdatabase (MySQL) telah terbukti memudahkan untuk mendukung kegiatan yang telah ditetapkan dan menghasilkan katalog spasial yang cukup membantu penyebaran informasi peta sumberdaya lahan pertanian.

Katalog spasial telah dikembangkan yang menyajikan katalog peta analog dan dijital dengan menggunakan webGIS ALOV. Meski saat ini masih dalam offline dalam format

CD Interaktif namun di kemudian hari akan online sehingga diharapkan memudahkan calon pengguna untuk memperoleh informasi dan mendapatkan peta sumberdaya lahan pertanian untuk tujuannya masing-masing.

DAFTAR PUSTAKA

Balai Penelitian Tanah. 2002. Standardisasi Basisata Tematik Sumberaya Tanah. Bogor.

Kraak, Menno-Jan dan F. Omerling. 2007. Kartografi:visualisasi data geospasial. Edisi kedua. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

LPT. 1972. Katalog-Peta-peta., Departemen Pertanian. Bogor.

LPT. 1978. Keadaan Peta Tanah di Indonesia. Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian. Bogor.

Mathiyalagan, V., S. Grunwald, K.R. Reddy, and S.A. Bloom. 2005. A webGIS and Geodatabase for Florida's Wetland. Computers and electronics in Agriculture, 47: 69-75.

Palacios, J. R. 2008. Resolution and Print Size. www.nikonians.org/html/resources /guide/resolutions_and_prints/ resolutions_and_print_size.html

Puslitbangtanak. 2002. Atlas Indeks Peta Digital Sumberdaya lahan Puslitbangtanak. Edisi 1. Puslitbangtanak, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian. Bogor.

Puslittanak. 1996. Daftar Peta Sumberdaya Lahan. Puslittanak, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian. Bogor.

Sekretariat IDSN. 2005. Standar Metadata Geospasial. Bakosurtanal. Cibinong.

Sekretariat IDSN. 2006. Metadata Data Spasial Nasional: Atlas Tanah untuk Tanaman skala 1:50.000 dan Atlas Tanah Explorasi skala 1:1.000.000 Puslitbangtanak. Bakosurtanal. Cibinong.

Sekretariat IDSN. 2006. Metadata Data Spasial Nasional: Atlas Tanah Explorasi dan Arahan Tataruang Puslitbangtanak skala 1:1.000.000. Bakosurtanal. Cibinong.

Sekretariat IDSN. 2007. Metadata Data Spasial Nasional: peta Penggunaan Lahan skala 1:250.000 dan Kesesuaian Lahan untuk Tanaman skala 1:50.000 BBSDLP Departemen Pertanian. Bakosurtanal. Cibinong.

Shawa, T.W. 2008. Building a system to disseminate digital map and geospatial data online. Library Trends. Fall 2006. FindArticles.com. 25 Aug. 2008. http://findarticles.com/p/articles/mi_m1387/is_2_55/ai_n27080065

Shofiyati, R dan S. Bachri. 2006. Pengembangan dan pendayagunaan basisdata sumberdaya lahan pertanian untuk menunjang pembangunan pertanian. Laporan Akhir. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.

Shofiyati, R. 2008. Perkembangan Basisdata BBSDLP. Informatika Pertanian, 17(1):1105-1116.

Sulaeman, Y., S. Bachri, dan R. Shofiyati. 2008. Desain dan mplementasi basisdata spasial dijital Sumberdaya lahan daerah aliran sungai. Prosiding Wokshop DAS. IPB. Bogor.

Lampiran 1. Cakupan peta-peta sumberdaya lahan pertanian di BBSDLP

No	Tema Peta
1	Peta Tanah/Satuan lahan
2	Peta Potensi lahan
3	Peta Ketersediaan Lahan
4	Peta Kesesuaian Lahan
5	Peta Pewilayahan Komoditas
6	Peta Arahan Tata Ruang Pertanian
7	Peta Status Hara Fosfat
8	Peta Status Hara Kalium
9	Peta Lahan Kritis
10	Peta Lahan Sawah
11	Peta Arahan Lahan Sawah Utama dan Sekunder
12	Peta Lahan Pertanian
13	Peta Penggunaan Lahan
14	Peta Wilayah Rawan Kekeringan di Lahan Pertanian
15	Peta Wilayah Rawan Banjir di Lahan Pertanian
16	Peta Wilayah Rawan Longsor
17	Peta Ketebalan Lumpur
18	Peta Tingkat Salinitas Tanah
19	Peta Tekstur Tanah
20	Peta Kerusakan Lahan Akibat Tsunami
21	Peta Kalender Tanam
22	Peta Arahan Komoditas Unggulan Nasional
23	Peta Sumberdaya Iklim Nasional
24	Peta Sumberdaya Tanah Explorasi

Sumber: Shofiyati dan Bachri (2006)

OPTIMALISASI PRODUKSI GLULAM MELALUI PEMILAHAN LAMINA

(Optimizing glulam production by laminae stress grading)

Effendi Tri Bahtiar

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB

Abstrak

Glulam merupakan salah satu kayu rekayasa yang digunakan sebagai komponen struktural. Glulam dapat diatur selama proses produksinya sehingga sifat mekanis produk akhirnya sesuai dengan yang diharapkan. Pengaturan lamina dapat dilakukan berdasarkan jenis kayu. Lamina dari jenis kayu kelas kuat tinggi digunakan sebagai *face* dan *back,* sedangkan lamina dari kelas kuat rendah digunakan sebagai *core.* Pengaturan menurut jenis kayu merupakan cara konvensional yang telah banyak dilakukan. Penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan alternatif pengaturan lamina untuk menghasilkan glulam yang lebih baik. Pengaturan yang direkomendasikan adalah melakukan pemilahan lamina terlebih dahulu kemudian menyusun lamina-lamina sedemikian rupa sehingga seluruh lapisan merupakan lamina yang memiliki modulus elastisitas sebanding. Lamina yang memiliki modulus elastisitas tertinggi di setiap kelas digabungkan menjadi satu glulam. Lamina yang memiliki modulus elastisitas lebih rendah digabungkan pula dengan yang lebih rendah di setiap kelas. Pengaturan lamina seperti telah berhasil meningkatkan kekuatan lentur karakteristik glulam arah tegak lurus muka lamina menjadi 298 kg/cm^2, lebih tinggi daripada pengaturan konvensional berdasarkan jenis yang bernilai 278 kg/cm^2. Pengaturan glulam dengan tipe seperti itu bahkan memiliki hubungan erat antara modulus elastisitas dengan keteguhan lenturnya, baik pada arah sejajar ataupun tegak lurus serat (R^2=62% dan 68%) sehingga lebih memudahkan pengkelasan mutu berikutnya.

Kata kunci: glulam, pemilahan, kekuatan karakteristik

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sebagai kayu rekayasa, proses produksi glulam dapat diatur sedemikian rupa sehingga produk akhir dapat mencapai target secara optimal. Target produk akhir glulam umumnya adalah kekuatan kharakteristik yang tinggi. Karena kekuatan karakteristik merupakan 5% glulam terlemah, yaitu 5% ekor bawah distribusi kekuatan glulam, target peningkatan kekuatan karakteristik tersebut dicapai dengan cara 1) meningkatkan rata-rata kekuatan glulam, dan/atau 2) menurunkan variasi kekuatan glulam. Kedua cara tersebut dilakukan dengan mengatur lamina-lamina penyusun glulam.

Pengaturan lamina dapat dilakukan berdasarkan jenis kayu yaitu menempatkan lamina dari kayu berkelas kuat rendah sebagai core, dan yang berkelas kuat lebih tinggi sebagai *face/back.* Pengaturan lamina tanpa memperhatikan jenis kayu (*regardless of*

species), dapat pula dilakukan dengan cara pemilahan (*stress grading*). Pemilahan dilakukan dengan mengukur modulus elastisitas (E) lamina tanpa merusak lamina tersebut. Lamina dengan E rendah ditempatkan sebagai core, dan yang memiliki E lebih tinggi sebagai *back/face*. Dengan pengaturan seperti itu diharapkan kekuatan karakteristik produk akhir dapat mencapai target yang diinginkan, baik dengan meningkatkan nilai rata-rata kekuatan atau menurunkan variasi kekuatan.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui efektifitas pemilahan (*stress grading*) lamina dalam meningkatkan kekuatan karakteristik glulam, khususnya pada balok lentur yang menerima beban berupa momen lentur sejajar atau tegak lurus muka lamina. Keteguhan lentur (modulus of rupture=S_R) glulam yang diproduksi dengan menyusun lamina hasil pemilahan dibandingkan dengan S_R glulam yang disusun menurut jenis.

1.2. Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan cara pengaturan lamina yang lebih baik untuk produksi glulam daripada cara konvensional. Pengaturan lamina hasil pemilahan (stress grading) diharapkan menghasilkan glulam yang memiliki kekuatan karakteristik yang lebih tinggi daripada pengaturan menurut jenis.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah simulasi untuk mendapatkan 100 batang glulam hipotetik dari lamina yang berukuran 2x6x300 cm dari 200 batang kayu Damar Laut, 200 batang kayu Pinus, dan 100 batang kayu Agathis. Simulasi dilakukan menggunakan software Microsoft Excel 2007 melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. Pembangkitan data modulus elastisitas (E) dan keteguhan lentur (S_R) lamina.
   a. Modulus elastisitas tiap lamina dibangkitkan melalui angka acak dari sebaran normal dengan parameter sebagai berikut:
      1) Kayu Damar Laut: E rata-rata 179498 kg/cm^2 dan standar deviasi: 38607 kg/cm^2
      2) Kayu Pinus: E rata-rata 120402 kg/cm^2 dan standar deviasi: 33742 kg/cm^2
      3) Kayu Agathis: E rata-rata 78305 kg/cm^2 dan standar deviasi: 12548 kg/cm^2
   b. Keteguhan lentur rata-rata ($\widehat{S_{Ri}}$) setiap lamina dihitung dengan cara memasukkan nilai E tiap-tiap lamina ke dalam persamaan berikut:
      1) Kayu Damar Laut: ($\widehat{S_{Ri}}$) =58,01+0,00301*E
      2) Kayu Pinus: ($\widehat{S_{Ri}}$) =-12,21+0,00301*E

3) Kayu Agathis : ($\widehat{S_{Ri}}$) =-36.57+0,00301*E

c. Keteguhan lentur setiap lamina (S_{Ri}) memiliki variasi, yang sebagian tidak dapat dijelaskan oleh E. Variasi tiap-tiap lamina yang tidak dapat dijelaskan oleh E ditentukan oleh jaraknya dari nilai rata-rata (ΔS_{Ri}). Nilai ΔS_{Ri} dibangkitkan melalui angka acak dengan parameter berikut:

1) Kayu Damar Laut: ΔS_{Ri} rata-rata 0 dan standar deviasi 54,134
2) Kayu Pinus: ΔS_{Ri} rata-rata 0 dan standar deviasi 60,024
3) Kayu Agathis: ΔS_{Ri} rata-rata 0 dan standar deviasi 55,529

d. Keteguhan lentur tiap lamina (S_{Ri}) diperoleh dari ($\widehat{S_{Ri}}$) +ΔS_{Ri}

2. Penyusunan lamina menjadi glulam

Ada 3 tipe glulam 5 lapis yang disusun dari 500 lamina berukuran 2x6x300 cm.

a. Tipe 1 disusun berdasarkan jenis kayu (Gambar 1a).
b. Tipe 2 disusun dari lamina hasil pemilahan, yaitu bagian core adalah 100 batang lamina yang memiliki E paling kecil, bagian face dan back adalah 200 batang lamina yang memiliki E paling besar, lapisan 2 dan 4 adalah 200 batang lamina yang memiliki E sedang. Glulam diatur sedemikian rupa sehingga apabila *face* dan *back* adalah lamina ber-E paling tinggi, maka *core,* lapisan 2 &4 juga merupakan lamina paling tinggi di kelasnya. (Gambar 1b)
c. Tipe 3 disusun dari lamina hasil pemilahan seperti tipe 2, dengan sedikit perbedaan pengaturan lapisan. Bila *face* dan *back* adalah lamina dengan E tertinggi, maka *core* adalah lamina E tertinggi di kelasnya, sedangkan lapisan 2&4 adalah lamina E terendah di kelasnya. (Gambar 1c)

a)

Damar laut
Pinus
Agathis
Pinus
Damar laut

b)

300 + 2n
99 + 2n
n
100 + 2n
299 + 2n

c)

300 + 2n
301 - 2n
n
300 - 2n
299 + 2n

Gambar 1. Glulam dengan pengaturan lamina a) Tipe 1, b) Tipe 2, c) Tipe 3. (Catatan: n menunjukkan urutan E dari terendah ke tertinggi).

3. Perhitungan modulus elastisitas (E) dan keteguhan lentur (S_R) glulam

a. Untuk balok yang menerima beban berupa momen lentur sejajar muka lamina, sebagaimana disampaikan oleh Bahtiar (2008) perhitungan modulus elastisitas (E) dan keteguhan lentur (S_R) glulam adalah sbb:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \qquad (1)$$

$$\frac{6M}{b^2\sum_{i=1}^{n} h_i}\frac{E_i}{E} \le S_{Ri}\,; \quad \mathrm{i} = 1,2,3,...\mathrm{n} \tag{2}$$

$$S_{R//} = \frac{6M_{maks}}{b^2\sum_{i-1}^{n} h_i} \tag{3}$$

Di mana :
E : Modulus elastisitas glulam
E_i : Modulus elastisitas lamina ke-i
h_i : tebal lamina ke-i
M : momen lentur
b : lebar lamina
S_{Ri} : Keteguhan lentur lamina ke-i
$S_{R//}$: Keteguhan lentur glulam sejajar muka lamina
M_{maks} : Momen lentur maksimum

b. Untuk balok yang menerima momen lentur tegak lurus muka lamina, sebagaimana telah dibuktikan oleh Bahtiar (2008), perhitungan modulus elastisitas (E) dan keteguhan lentur (S_R) glulam adalah sbb:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i\left(\left(\sum_{i=1}^{n} h_i\right)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n-1} h_i\right)^2\right)}{2\sum_{i=1}^{n} E_i h_i} \tag{4}$$

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i I_i}{I} \tag{5}$$

$$\frac{E_i}{E}\frac{My_i}{I} \le S_{Ri} \tag{6}$$

$$S_{R\perp} = \frac{E_i}{E}\frac{M_{maks}\,y_i}{I} \tag{7}$$

Di mana :
c : garis netral
I_i : Momen inersia lamina ke-i dihitung dari garis netral glulam
I : Momen inersia glulam
$S_{R\perp}$: Keteguhan lentur glulam tegak lurus muka lamina

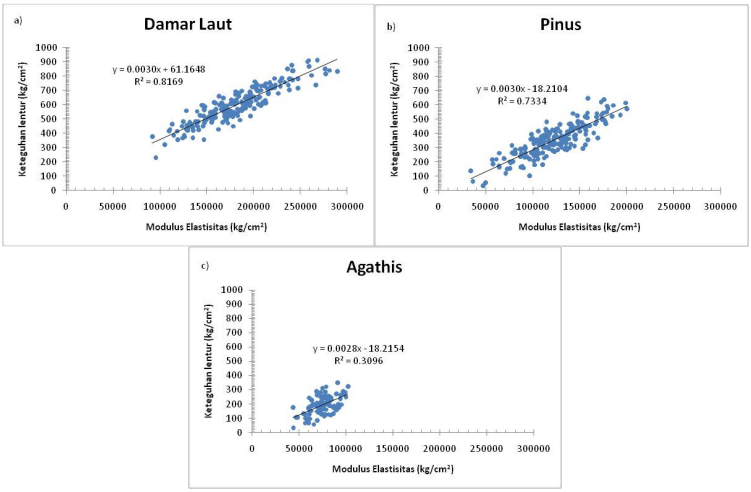
4. Analisis statistik

Untuk mengetahui perbedaan rata-rata kekuatan glulam tipe 1, 2, dan 3, dilakukan uji t saling bebas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Lamina-lamina Hasil Simulasi

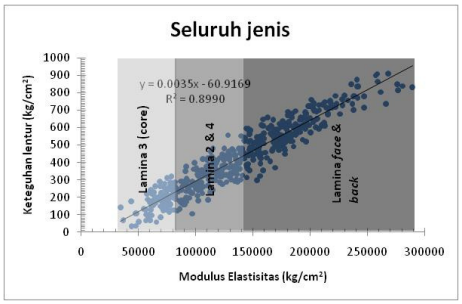
Simulasi berhasil membangkitkan 100 lamina kayu agathis, 200 lamina kayu pinus, dan 200 lamina kayu damar laut. Sebaran modulus elastisitas (E) dan keteguhan lentur (S_R) lamina tersebut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sebaran modulus elastisitas dan keteguhan lentur lamina dari kayu a) damar laut, b) pinus, c) agathis

Sebaran modulus elastisitas kayu damar laut, pinus, dan agathis berturut-turut adalah 90.000-290.000 kg/cm^2, 30.000-210.000 kg/cm^2, dan 30.000-110.000 kg/cm^2. Sedangkan sebaran keteguhan lentur kayu damar laut, pinus, dan agathis adalah 200-1.000 kg/cm^2, 20-700 kg/cm^2, dan 15-400 kg/cm^2. Untuk setiap jenis kayu, modulus elastisitas berhubungan erat dengan keteguhan lenturnya dengan koefisien determinasi (R^2) berkisar 30% hingga 82%. Pada glulam tipe 1, lamina kayu damar laut dipergunakan sebagai *face* dan *back*, kayu agathis sebagai *core*, dan kayu pinus untuk lapisan 2 & 4.

Untuk menyusun lamina tipe 2 & 3, dilakukan pemilahan terlebih dahulu sehingga seluruh lamina diklasifikasikan menjadi 3 kategori berdasarkan modulus elastisitasnya. 100 lamina yang memiliki modulus elastisitas terendah digunakan sebagai *core,* 200 lamina yang memiliki modulus elastisitas tertinggi digunakan sebagai *face* dan *back,* sedangkan 200 lamina yang memiliki modulus elastisitas sedang dipergunakan sebagai lapisan 2 & 4. Seluruh data modulus elastisitas dan keteguhan lentur yang diperoleh seperti tersaji di Gambar 2, digabung dan disajikan ulang pada Gambar 3.



Gambar 3. Sebaran modulus elastisitas dan keteguhan lentur seluruh jenis

Seperti terlihat pada Gambar 3. sebaran modulus elastisitas lamina dari seluruh jenis adalah 30.000-290.000 kg/cm^2, sedangkan sebaran keteguhan lenturnya adalah 15-1.000 kg/cm^2. Hubungan modulus elastisitas dan keteguhan lentur lamina seluruh jenis sangat tinggi yaitu 89,9%. Lamina-lamina tersebut dipilah berdasarkan modulus elastisitasnya menjadi tiga kelas kuat yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Hasil pengkelasan disajikan pada Tabel 1. Lamina dari kelas kuat rendah dipergunakan untuk *core*, sedang untuk lapisan 2 & 4, dan tinggi untuk lapisan *face* dan *back.*

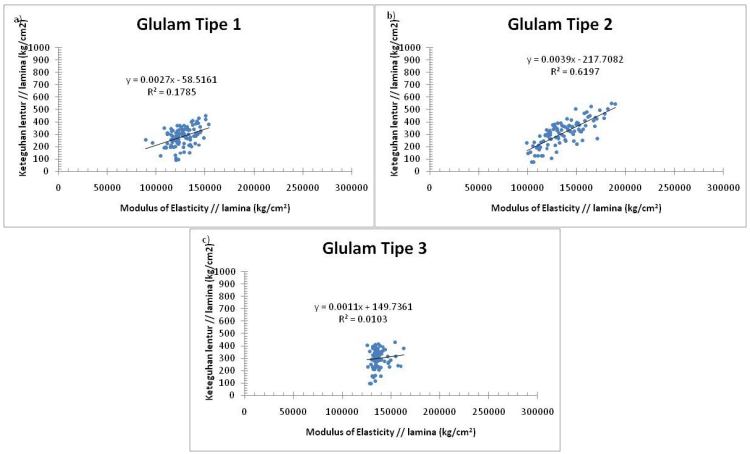
Tabel 1. Pengkelasan lamina hasil pemilahan

No	Kelas mutu	Interval E (kg/cm^2)	Jumlah	Peruntukan
1	Rendah	34.200 – 82.100	100	*core*
2	Sedang	82.200 – 148.400	200	lapisan 2 & 4
3	Tinggi	148.500 – 289.500	200	*face & back*

Untuk glulam tipe 2, pengaturan lamina disusun sedemikian rupa sehingga lamina-lamina yang memiliki modulus elastisitas tertinggi dari setiap kelas kuat digabung menjadi satu glulam. Sedangkan untuk glulam tipe 3, lamina yang memiliki modulus elastisitas tertinggi dari kelas kuat rendah (*core*) dan tinggi (*face & back*) digabung dengan lamina yang memiliki modulus elastisitas terendah dari kelas kuat sedang (lapisan 2 & 4).

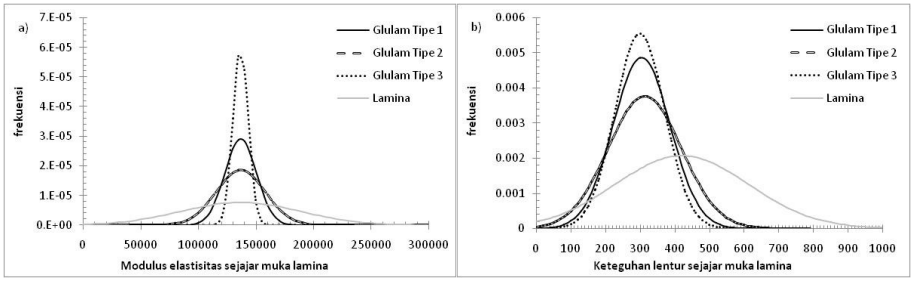
3.2. Glulam Hipotetik yang Menerima Momen Lentur Sejajar Muka Lamina

Sebanyak 100 buah glulam hipotetik dari setiap tipe telah berhasil disusun dari 500 batang lamina. Glulam hipotetik tersebut menerima beban berupa momen lentur sejajar muka lamina. Sebaran modulus elastisitas dan keteguhan lentur glulam yang diproduksi menurut tipe 1, 2, dan 3 disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sebaran Modulus Elastisitas dan Keteguhan Lentur Glulam Sejajar Muka Lamina

Seperti terlihat pada Gambar 4, sebaran modulus elastisitas dan keteguhan lentur glulam pada arah sejajar muka lamina bervariasi menurut tipenya. Glulam tipe 1 dan 3, memiliki variasi modulus elastisitas yang lebih rendah daripada glulam tipe 2. Demikian pula dengan keteguhan lenturnya. Distribusi frekuensi keteguhan lentur glulam dari ketiga tipe disajikan pada Gambar 5, sedangkan parameternya disajikan pada Tabel 2.



Gambar 5. Distribusi frekuensi a) modulus elastisitas b) keteguhan lentur glulam sejajar muka lamina

Tabel 2. Modulus elastisitas dan keteguhan lentur glulam sejajar muka lamina

No	Variabel	Glulam tipe 1		Glulam Tipe 2		Glulam Tipe 3	
		Rata-rata	St. Dev	Rata-rata	St. Dev	Rata-rata	St. Dev
1	Modulus Elastisitas (kg/cm^2)	136.722	13.707	136.722	21.417	136.722	6.748
2	Keteguhan Lentur (kg/cm^2)	304	82	313	106	299	72

Seperti terlihat pada Gambar 5 dan Tabel 1, modulus elastisitas rata-rata glulam dari ketiga tipe adalah tetap, tetapi variasinya berbeda-beda. Pengaturan lamina menurut jenis menyebabkan glulam tipe 1 memiliki variasi modulus elastisitas yang cukup tinggi (s=13.707). Pengaturan lamina seperti pada glulam tipe 2, yaitu lamina yang memiliki modulus elastisitas paling tinggi di tiap kelasnya digabung menjadi satu glulam justru menyebabkan variasinya meningkat (s=21.417) dibanding glulam tipe 1. Perbaikan variasi modulus elastisitas justru terlihat pada glulam tipe 3, karena pengaturan lamina dibuat sehingga lapisan *face, back,* dan *core* berasal dari lamina terkaku di kelasnya, sedangkan lapisan 2 & 4 dari lamina terlentur di kelasnya. Model pengaturan seperti itu menurunkan variasi modulus elastisitas glulam hingga standar deviasinya menjadi 6.748. Perbedaan variasi modulus elastisitas glulam sejajar muka lamina ini significant seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

Rata-rata keteguhan lentur glulam sejajar muka lamina setiap tipe lamina tidak menunjukkan perbedaan yang *significant* secara statistik (Tabel 3), sehingga pemilahan lamina belum berhasil meningkatkan rata-rata keteguhan lentur glulam sejajar muka lamina. Variasi keteguhan lentur glulam sejajar muka lamina untuk glulam tipe 3 tidak

berbeda nyata secara statistik dibandingkan glulam tipe 1 (Tabel 4), meskipun telah tampak perbedaannya. Bahkan variasi keteguhan lentur glulam tipe 2, lebih tinggi dibanding glulam tipe 1.

Tabel 2. Hasil Uji F Perbedaan Variasi Modulus Elastisitas Glulam Sejajar Muka Lamina

a)

	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 2*
Mean	136.722	136.722
Variance	187.893.843	458.708.423
Observations	100	100
df	99	99
F	0,40961	
P(F<=f) one-tail	0,00001	
F Critical one-tail	0,71733	

b)

	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 3*
Mean	136.722	136.722
Variance	187.893.843	45.535.130
Observations	100	100
df	99	99
F	4,1263	
P(F<=f) one-tail	0,0000	
F Critical one-tail	1,3941	

Tabel 3. Analisis ragam keteguhan lentur glulam sejajar muka lamina

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	9.901	2	4.950	0,64097	0,5275	3,0261
Within Groups	2.293.781	297	7.723			
Total	2.303.681	299				

Tabel 4. Hasil Uji F Perbedaan Variasi Keteguhan Lentur Glulam Sejajar Muka Lamina

a)

	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 2*
Mean	304	313
Variance	6785	11136
Observations	100	100
df	99	99
F	0,6092	
P(F<=f) one-tail	0,0072	
F Critical one-tail	0,7173	

b)

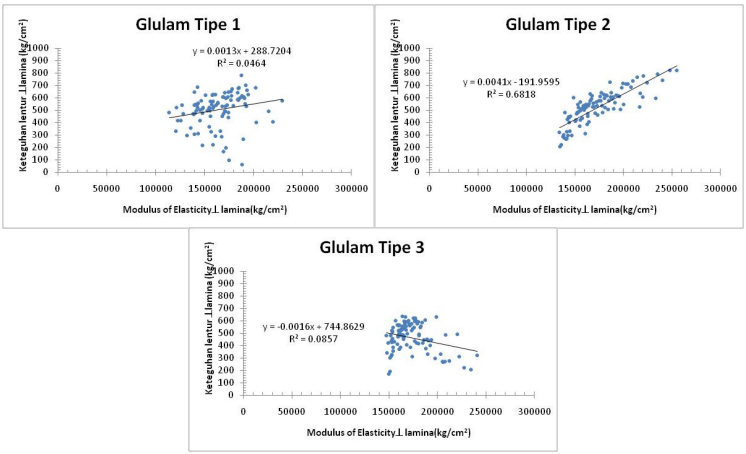
	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 3*
Mean	304	299
Variance	6785	5249
Observations	100	100
df	99	99
F	1,2925	
P(F<=f) one-tail	0,1018	
F Critical one-tail	1,3941	

Pengaturan lamina dengan metode konvensional berdasarkan jenis seperti glulam tipe 1 masih cukup baik dan belum cukup alasan untuk menggantikannya dengan pengaturan berdasar hasil pemilahan karena tidak terjadi peningkatan rata-rata keteguhan lentur glulam ataupun penurunan variasinya. Satu-satunya perbaikan yang terjadi hanyalah penurunan variasi modulus elastisitas glulam tipe 3. Namun karena modulus elastisitas merupakan sifat elastis benda yang diambil nilai rata-ratanya sebagai nilai desainnya, maka perbaikan ini menjadi tidak banyak berarti. Seperti terlihat pada Gambar 4b, glulam tipe 2 memiliki keunggulan daripada dua tipe lainnya yaitu hubungan

modulus elastisitas dan keteguhan lenturnya cukup tinggi (R^2=73,3%) sehingga dapat dilakukan pengkelasan mutu glulam dengan lebih mudah. Bila glulam akan dikelaskan berdasar beberapa kelas mutu, pengaturan lamina seperti pada glulam tipe 2 dapat direkomendasikan.

3.3. Glulam Hipotetik yang Menerima Momen Lentur Tegak Lurus Muka Lamina

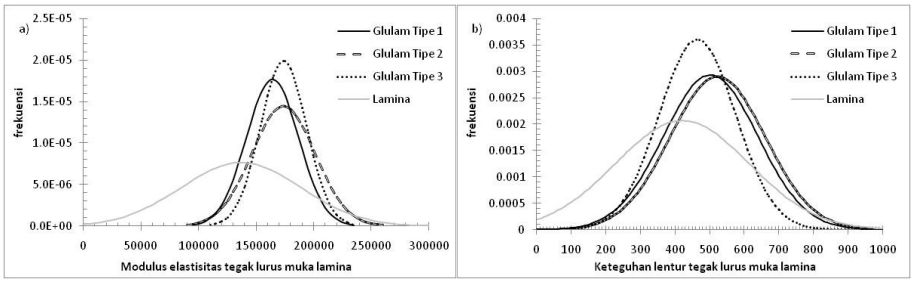
Perhitungan analitis terhadap 100 glulam tipe 1, 100 glulam tipe 2, dan 100 glulam tipe 3 yang disusun dari lamina-lamina yang sama menghasilkan sebaran nilai modulus elastisitas dan keteguhan lentur tegak lurus muka lamina seperti disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sebaran Modulus Elastisitas dan Keteguhan Lentur Glulam Tegak Lurus Muka Lamina

Seperti terlihat pada Gambar 6, untuk arah tegak lurus muka lamina, sebaran keteguhan lentur glulam tipe 1 berkisar 70-800 kg/cm^2, tipe 2 200-800 kg/cm2, dan tipe 3 200-700 kg/cm^2. Sedangkan modulus elastisitas arah tegak lurus muka lamina glulam tipe 1, 2, dan 3, berturut-turut adalah 110.000-230.000 kg/cm^2, 130.000-260.000 kg/cm^2, dan 150.000-240.000 kg/cm^2. Sebaran modulus elastisitas dan keteguhan lentur glulam arah tegak lurus muka lamina disajikan dalam bentuk distribusi frekuensi pada Gambar 7, sedangkan nilai-nilai parameternya disajikan pada Tabel 5. Pada glulam tipe 1 dan 3, hubungan modulus elastisitas dan keteguhan lentur tegak lurus muka lamina tidak cukup erat karena koefisien determinasinya hanya 4,6% dan 8,6% (Gambar 6). Sedangkan untuk glulam tipe 2, hubungan modulus elastisitas dan keteguhan lentur tegak lurus muka lamina sangat erat (R^2=68,2%). Dengan demikian glulam tipe 2 lebih mudah diklasifikasikan ke dalam kelas-kelas mutu berdasarkan modulus elastisitasnya daripada dua tipe lainnya.

Rata-rata modulus elastisitas glulam arah tegak lurus muka lamina hasil pemilahan (tipe 2 dan 3) lebih tinggi daripada glulam yang disusun berdasar jenis (tipe 1). Rata-rata modulus elastisitas glulam tipe 2 dan 3 adalah 173.566 kg/cm2, lebih tinggi daripada glulam tipe 1 yaitu 164.023 kg/cm2. Perbedaan itu cukup *significant* secara statistik (Tabel 6), sehingga cukup alasan untuk menjustifikasi bahwa pengaturan lamina berdasarkan hasil pemilahan berdasarkan modulus elastisitasnya (*stress* grading) akan menghasilkan glulam yang memiliki kekakuan bahan lebih tinggi daripada glulam yang lapisannya diatur berdasarkan jenis.



Gambar 7. Distribusi frekuensi a) modulus elastisitas b) keteguhan lentur glulam tegak lurus muka lamina

Tabel 5. Modulus elastisitas dan keteguhan lentur glulam tegak lurus muka lamina

No	Variabel	Glulam tipe 1		Glulam Tipe 2		Glulam Tipe 3	
		Rata-rata	St. Dev	Rata-rata	St. Dev	Rata-rata	St. Dev
1	Modulus Elastisitas (kg/cm^2)	164.023	22.524	173.566	27.574	173.566	20.019
2	Keteguhan Lentur (kg/cm^2)	502	136	523	137	464	111

Tabel 6. Hasil Uji t Rata-rata Modulus Elastisitas Glulam Tegak Lurus Muka Lamina

a)

	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 2*
Mean	164.023	173.566
Variance	507.327.362	760.315.753
Observations	100	100
Hypothesized Mean Difference	0	
df	190	
t Stat	-2,6804	
P(T<=t) one-tail	0,0040	
t Critical one-tail	1,6529	
P(T<=t) two-tail	0,0080	
t Critical two-tail	1,9725	

b)

	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 3*
Mean	164.023	173.566
Variance	507.327.362	400.769.446
Observations	100	100
Hypothesized Mean Difference	0	
df	195	
t Stat	-3,1668	
P(T<=t) one-tail	0,0009	
t Critical one-tail	1,6527	
P(T<=t) two-tail	0,0018	
t Critical two-tail	1,9722	

Peningkatan rata-rata modulus elastisitas glulam arah tegak lurus muka lamina pada glulam tipe 2 dibanding tipe 1, ternyata diikuti dengan peningkatan variasinya. Standar deviasi glulam tipe 1 adalah 22.254 kg/cm^2, sedangkan glulam tipe 2 adalah 27.574 kg/cm^2. Perbedaan ini cukup besar sehingga nyata secara statistik (Tabel 7). Sebaliknya peningkatan rata-rata modulus elastisitas glulam tipe 3 dibanding tipe 1, diikuti oleh penurunan variasinya. Standar deviasi glulam tipe 3 adalah 20.019 kg/cm^2. Namun penurunan ini tidak cukup besar sehingga tidak nyata secara statistik (Tabel 7b).

Tabel 7. Hasil Uji F Perbedaan Variasi Modulus Elastisitas Glulam Tegak Lurus Muka Lamina

a)

	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 2*
Mean	164.023	173.566
Variance	507.327.362	760.315.753
Observations	100	100
df	99	99
F	0,6673	
P(F<=f) one-tail	0,0227	
F Critical one-tail	0,7173	

b)

	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 3*
Mean	164.023	173.566
Variance	507.327.362	400.769.446
Observations	100	100
df	99	99
F	1,2659	
P(F<=f) one-tail	0,1213	
F Critical one-tail	1,3941	

Modulus elastisitas suatu komponen lebih ditentukan oleh nilai rata-rata aktual komponen tersebut, daripada variasinya. Karena itu bila dilihat dari segi kekakuan bahan dapat dikatakan bahwa pengaturan lapisan glulam berdasarkan pemilahan lamina mampu meningkatkan efisiensi glulam daripada pengaturan berdasarkan jenis kayu. Glulam tipe 2 dan 3 memiliki kekakuan bahan yang lebih tinggi daripada glulam tipe 1.

Kekuatan bahan merupakan kemampuan bahan dalam menerima beban berupa gaya luar atau momen yang bekerja padanya. Kekuatan bahan ditentukan berdasarkan beban maksimum yang dapat diterima bahan tepat pada saat kerusakan pertama terjadi. Modulus elastisitas merupakan sifat elastis dan bukan sifat kekuatan bahan, sehingga keteguhan lentur glulam lebih tepat dipergunakan untuk menentukan kekuatan bahan daripada modulus elastisitas. Rata-rata keteguhan lentur glulam arah tegak lurus muka lamina untuk untuk glulam tipe 1, 2, dan 3, berturut-turut adalah 502 kg/cm^2, 523 kg/cm^2, dan 464 kg/cm^2. Glulam tipe 1 tidak berbeda nyata dengan glulam tipe 2, meskipun telah terjadi peningkatan rata-rata sebesar 21 kg/cm^2 (Tabel 8a). Namun glulam tipe 3 memiliki rata-rata keteguhan lentur tegak lurus muka lamina yang lebih rendah daripada glulam tipe 1. Penurunan itu cukup besar sehingga *significant* secara statistik (Tabel 8b).

Tabel 8. Hasil Uji t Rata-rata Keteguhan Lentur Glulam Tegak Lurus Muka Lamina

a)

	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 2*
Mean	502	523
Variance	18.480	18.898
Observations	100	100
Hypothesized Mean	0	
df	198	
t Stat	-1,0627	
P(T<=t) one-	0,1446	
t Critical one-	1,6526	
P(T<=t) two-	0,2892	
t Critical two-	1,9720	

b)

	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 3*
Mean	502	464
Variance	18.480	12.263
Observations	100	100
Hypothesized Mean	0	
df	190	
t Stat	2,1782	
P(T<=t) one-	0,0153	
t Critical one-	1,6529	
P(T<=t) two-	0,0306	
t Critical two-	1,9725	

Variasi keteguhan lentur glulam tipe 2 tidak berbeda dengan glulam tipe 1 (Tabel 9a). Penurunan rata-rata keteguhan lentur glulam tipe 3 diikuti dengan penurunan variasinya (Tabel 9b). Rata-rata dan variasinya, merupakan dua parameter penentu sifat kekuatan suatu populasi produk alam ataupun produk pabrik. Kekuatan produk, termasuk glulam, adalah kekuatan karakteristik, yaitu 5% nilai terlemah (5% *exclusion limit*).

Tabel 9. Hasil Uji F Perbedaan Variasi Keteguhan Lentur Glulam Sejajar Muka Lamina

a)

	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 2*
Mean	502	523
Variance	18480	18898
Observations	100	100
df	99	99
F	0,9779	
P(F<=f) one-	0,4558	
F Critical one-	0,7173	

b)

	Glulam Tipe 1	*Glulam Tipe 3*
Mean	502	464
Variance	18480	12263
Observations	100	100
df	99	99
F	1,5070	
P(F<=f) one-	0,0213	
F Critical one-	1,3941	

3.4. Kekuatan Lentur Karakteristik Glulam

Nilai rata-rata kekuatan lentur tidak bisa digunakan sebagai nilai referensi untuk perencanaan komponen bangunan. Bila nilai rata-rata kekuatan lentur yang digunakan, maka sekurang-kurangnya setengah dari bangunan yang dibangunan akan mengalami kerusakan. Menurut ASTM D245, nilai yang disarankan sebagai nilai kekuatan karakteristik adalah 5% terlemah (5% *exclusion limit*). Salah satu cara untuk mendapatkan nilai kekuatan karakteristik kayu dan produk kayu adalah dengan rumus:

$$5\%\ EL = \bar{x} - 1{,}645s \qquad (8)$$

Dimana: $\bar{x}$: rata-rata kekuatan
s : standar deviasi

Dengan rumus tersebut diperoleh nilai kekuatan lentur karakteristik glulam seperti tersaji pada Tabel 10. Seperti terlihat pada Tabel 10, nilai karakteristik keteguhan lentur arah sejajar muka lamina tertinggi dimiliki oleh glulam tipe 3 dengan nilai sebesar 181 kg/cm^2. Sedangkan pada arah tegak lurus muka lamina, keteguhan lentur karakteristik tertinggi dimiliki oleh glulam tipe 2. Nilai kekuatan karakteristik arah tegak lurus muka lamina sangat tinggi, hampir dua kali lipat dari nilai arah sejajar muka lamina sehingga glulam pada umumnya digunakan untuk komponen balok lentur yang menerima beban tegak lurus muka lamina. Oleh karena itu pengaturan lamina tipe 2 merupakan alternatif terbaik untuk memproduksi glulam secara optimal. Pengaturan lamina dilakukan melalui pemilahan dan selanjutnya menempatkan lamina terkaku di setiap kelas sebagai bahan baku glulam. Lamina yang memiliki modulus elastisitas tertinggi di kelasnya digunakan sebagai face, back, core, dan lapisan antaranya. Demikian pula lamina yang memiliki modulus elastisitas terendah di tiap kelas digabung menjadi satu glulam. Konfigurasi seperti itu berhasil mendapatkan kekuatan karakteristik optimal bagi seluruh glulam hasil produksi.

Tabel 10. Kekuatan Karakteristik Lentur Glulam

	Kekuatan karakteristik lentur (kg/cm^2)	
	Sejajar muka lamina	Tegak lurus muka lamina
Glulam Tipe 1	169	278
Glulam Tipe 2	139	298
Glulam Tipe 3	181	281

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Pemilahan lamina dan selanjutnya mengatur lamina tersebut menjadi glulam tipe 2 (seluruh lapisan dari lamina yang sebanding kekakuannya) telah berhasil meningkatkan kekuatan lentur karakteristik glulam arah tegak lurus muka lamina menjadi 298 kg/cm^2 daripada pengaturan konvensional menurut jenis (tipe 1) yang hanya memiliki kekuatan karakteristik sebesar 278 kg/cm^2.

4.2. Saran

1. Glulam disarankan digunakan untuk komponen balok lentur yang menerima momen tegak lurus muka lamina daripada sejajar muka lamina.
2. Pada tahap pra produksi disarankan dilakukan pemilahan lamina dengan cara stress grading, dan selanjutnya mengatur lamina-lamina yang berkekuatan sebanding sebagai bahan baku glulam (tipe 2).

DAFTAR PUSTAKA

[ASTM] American Society for Testing and Materials. 2000. Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber. ASTM D241-00. USA.

Bahtiar, E.T. 2008. Modulus Elastisitas dan Keteguhan Lentur Glulam. Seminar Nasional Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia XI. Palangkaraya. 8 – 10 Agustus 2008.