

PEMANFAATAN BIOMASSA LIMBAH LIGNOSELULOSA UNTUK BIOETANOL SEBAGAI SUMBER ENERGI BARU TERBARUKAN

Yanni Sudiyani, Riyanto Heru, dan Syarifah Alawiyah

ABSTRACT

Energy crisis which is emerging recently encourages the development of new renewable energy resources from biomass. Indonesia has abundant resources of biomass, which the most prospective one is lignocellulose especially from agriculture waste or industrial waste. The ethanol production from lignocellulosic waste consists of pretreatment process followed by hydrolysis and fermentation process. Finally, the purification is conducted to obtain high-purity bioethanol.

Keywords: Lignocellulose, bioethanol, hydrolysis, fermentation

ABSTRAK

Krisis energi yang muncul di dunia mendorong pengembangan penggunaan energi baru terbarukan yang berasal dari biomassa. Indonesia memiliki sumber biomassa yang begitu melimpah di mana salah satu yang prospektif adalah lignoselulosa dari limbah pertanian atau limbah industri. Produksi etanol dari limbah berlignoselulosa terdiri atas proses perlakuan awal bahan baku /pretreatment, diikuti proses hidrolisis dan fermentasi, yang akhirnya dipurifikasi untuk mendapatkan bioetanol dengan kemurnian yang tinggi.

Kata kunci: Lignoselulosa, bioetanol, hidrolisis, fermentasi

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar etanol di Indonesia dan di dunia akan terus meningkat diakibatkan krisis energi yang terjadi saat ini akibat cadangan minyak bumi yang semakin menipis. Hasil kajian energi yang dilakukan oleh Komite Nasional Energi – World Energy Council (2004) memprediksikan bahwa sumber minyak di Jawa, Sumatra dan Kalimantan akan habis masing-masing pada 2018, 2014 dan 2017. Di samping itu, Indonesia sebetulnya sudah menjadi negara pengimpor minyak, terutama impor produk minyak jenis *middle distillate* dan *premium*.

Eksplorasi kekayaan alam yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan etanol dilakukan untuk mewujudkan keamanan pasokan energi.

Etanol dapat dibuat secara sintesis dari petroleum atau konversi mikrobial biomassa melalui fermentasi. Pada tahun 1995, sekitar 93% etanol di dunia dibuat dengan metode fermentasi dan 7% dengan metode sintesis⁽¹⁾.

Pembuatan etanol dengan fermentasi dapat dilakukan secara langsung dari gula, atau dari sumber karbohidrat lain yang dapat dikonversi menjadi gula, seperti pati dan selulosa. Namun gula dan bahan berpati merupakan sumber makanan bagi manusia, sehingga selain terlalu mahal untuk digunakan dalam produksi etanol juga dapat mengganggu stabilitas pangan⁽¹⁾.

Sebagai alternatif ketiga bahan baku bioetanol yaitu biomassa, yang sering kali merupakan limbah pertanian atau kehutanan belum banyak dimanfaatkan. Biomassa bahan berselulosa atau sering disebut juga bahan lignoselulosa yang merupakan sumber potensial mengandung berbagai gula untuk

fermentasi menjadi bioetanol⁽²⁾. Sumber biomassa selulosa secara umum tersebar sangat luas dan melimpah. Sebagai contoh, hutan terdiri atas 80% biomassa dunia⁽¹⁾, karena melimpah dan berada di luar rantai makanan manusia membuat bahan berselulosa relatif tidak mahal sebagai bahan baku untuk produksi etanol dan juga tidak akan mengganggu stabilitas pangan.

Potensi Biomassa Indonesia

Biomassa yang pada umumnya merupakan bahan lignoselulosa banyak berasal dari limbah pertanian dan kehutanan. Indonesia memiliki potensi biomassa yang sangat melimpah. Potensi biomassa Indonesia seperti pada Tabel 1 meliputi limbah kehutanan, perkebunan dan pertanian. Indonesia diperkirakan menghasilkan 146,7 juta ton biomassa setiap tahun, ekuivalen dengan sekitar 470 GJ/tahun.

Sumber biomassa ini tersebar di seluruh wilayah Indonesia dan potensi dalam jumlah besar terdapat di Pulau Kalimantan, Sumatra, Papua dan Sulawesi⁽³⁾. Salah satu contohnya adalah tandan kosong kelapa sawit yang pertahunnya diperkirakan seperti pada gambar berikut.

Biomassa dan Karakterisasinya

Biomassa adalah material organik dari tanaman atau hewan, yang mencakup :

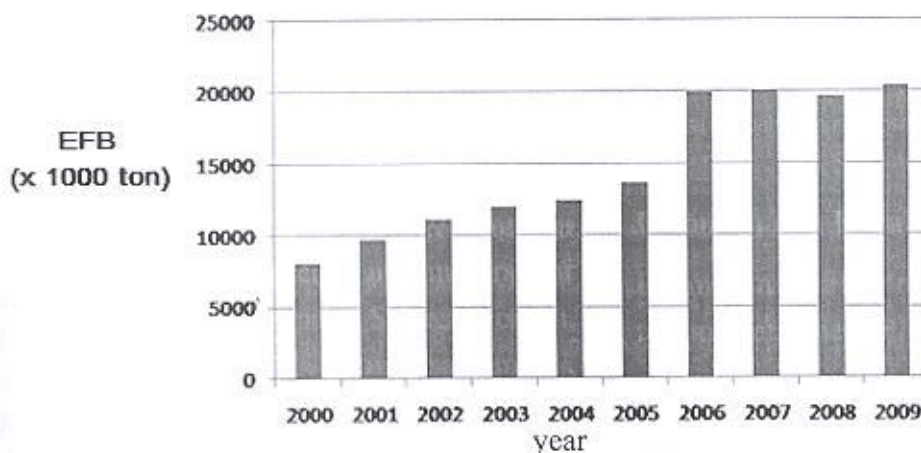
- semua organisme air dan darat, serta tumbuh-tumbuhan (hidup)
- semua biomassa benda mati dan biomassa limbah: limbah padat rumah tangga, limbah hewan
- residu: residu hutan dan pertanian, limbah industri

Selama fotosintesis, tanaman meng-kombinasikan CO₂ dari udara dan air dari dalam tanah menjadi karbohidrat yang merupakan unit pembangun biomassa. Energi matahari yang menjalankan fotosintesis disimpan dalam bentuk ikatan kimia pada komponen struktural biomassa. Jadi, energi biomassa merupakan bentuk dari energi matahari.

Sumber biomassa, diantaranya adalah :

- Tanaman: tanaman kayu, tanaman pertanian
- Produk limbah: residu kayu, limbah tanaman, limbah hewan, limbah padat rumah tangga, limbah industri dan komersial.

Meski perbandingan secara tepat komponen biomassa bergantung pada jenisnya, rata-rata



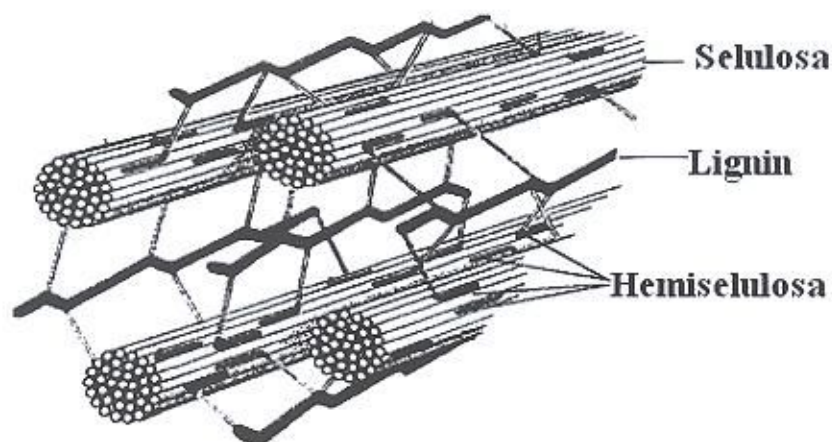
Sumber: Dirjen Perkebunan, Kementerian Pertanian

Gambar 1. Prediction of EFB's potency in Indonesia based on CPO production data

Tabel 1. Residu Biomassa yang Potensial sebagai Sumber Bahan Baku

Biomasa	Daerah Utama	Produksi [juta ton/tahun]	Potensi Energi [juta GJ/tahun]
Kayu karet	Sumatera, Kalimantan, Jawa	41	120
Residu <i>logging</i>	Sumatera, Kalimantan	4.5	19
Residu penggergajian kayu	Sumatera, Kalimantan	1.3	13
Residu produksi kayu tripleks/lapis dan veneer	Kalimantan, Sumatera, Jawa, Irian Jaya, Maluku	1.5	16
Residu gula	Jawa, Sumatera, Kalimantan Selatan	Bagas: 10 Batang atas: 4; Daun: 9.6	78
Residu padi	Jawa, Sumatera, Sulawesi, Kalimantan, Bali/Nusa Tenggara	Sekam: 12 Kulit padi: 2.5 Batang: 2 Jerami: 49	150
Residu kelapa	Sumatera, Jawa, Sulawesi	Batok: 0.4 Sekam: 0.7	7
Residu kelapa sawit	Sumatera; Daerah baru : Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara, Irian Jaya	Tandan kosong sawit : 3.4 Serat/serabut: 3.6; Cangkang: 1.2	67

Sumber : ZREU, CGI 2000



Gambar 2. Struktur lignoselulosa yang terdiri atas lignin, selulosa, dan hemiselulosa

biomassa terdiri atas 75% karbohidrat atau gula, yaitu selulosa dan hemiselulosa, dan 25% lignin, sehingga disebut juga sebagai bahan lignoselulosa.

Lignin merupakan komponen penting pada

dinding sel tanaman. Salah satu fungsi utama lignin adalah sebagai pendukung struktural tanaman. Lignin menjadi polimer organik paling melimpah kedua di bumi setelah selulosa, menyusun 25-30% karbon organik nonfosil.

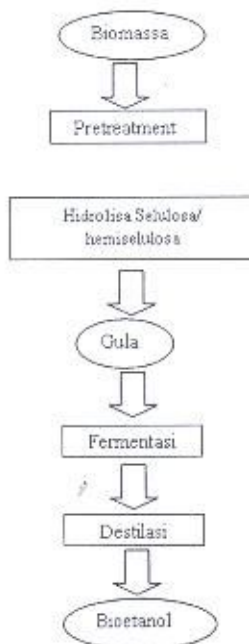
Selulosa terdiri rantai panjang glukosa seperti pada pati, tetapi memiliki konfigurasi struktural yang berbeda. Karakteristik struktural yang berbeda ini ditambah enkapsulasi oleh lignin membuat biomasa lignoselulosa lebih sulit dihidrolisis dibanding pati.

Hemiselulosa juga tersusun dari rantai panjang molekul gula, tapi selain glukosa (gula heksosa karbon 6), juga mengandung pentosa (gula karbon 5). Secara umum, komposisi gula pada hemiselulosa bervariasi tergantung jenis tanaman.

METODOLOGI

Proses Pembuatan Etanol dari Biomassa Lignoselulosa

Proses konversi bahan lignoselulosa menjadi etanol pada prinsipnya terdiri atas tiga tahap yaitu: perlakuan awal/pretreatment, hidrolisis, fermentasi dan pemisahan/pemurnian produk⁽⁴⁾, seperti disajikan pada diagram (Gambar 3).

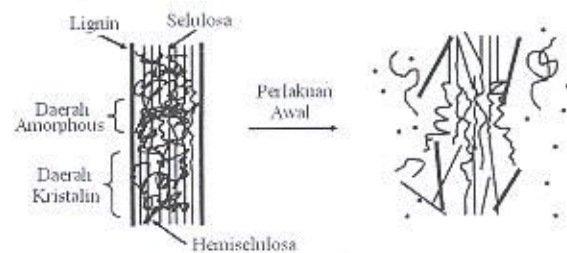


Gambar 3. Diagram proses konversi biomassa lignoselulosa menjadi etanol

Perlakuan Awal/Pretreatment

Perlakuan awal dibutuhkan untuk mengubah struktur biomassa selulosik sehingga selulase dapat menjangkau selulosa dan mengkonversi polimer karbohidrat menjadi gula-gula sederhana yang dapat difermentasi. Tujuannya untuk memecah kerangka lignin dan menghancurkan struktur kristalin selulosa.

Perlakuan awal harus memenuhi persyaratan sebagai berikut: meningkatkan pembentukan gula atau kemampuan pembentukan gula dengan hidrolisis enzimatik, menghindari degradasi atau hilangnya karbohidrat, menghindari pembentukan produk samping yang akan menghambat proses hidrolisis dan fermentasi selanjutnya dan efektif secara biaya⁽⁵⁾.



Gambar 4. Skema tujuan perlakuan awal pada bahan lignoselulosa

Terdapat beberapa cara untuk perlakuan awal bahan lignoselulosa :

- Perlakuan awal secara fisik: pencacahan secara mekanik (*chipping, grinding dan milling*), pirolisis pada suhu rendah.
- Perlakuan awal secara fisika-kimia: *steam explosion, ammonia fiber explosion, CO₂ explosion*.
- Perlakuan awal secara kimia: ozonolisis, hidrolisis asam, hidrolisis basa, delignifikasi oksidatif, proses organosolv.
- Perlakuan awal secara biologis: menggunakan mikroorganisme (jamur pelapuk coklat, jamur pelapuk putih, jamur pelunak).

Hidrolisis selulosa

Selulosa dapat dihidrolisis menjadi glukosa secara enzimatis oleh selulase atau secara kimia dengan asam sulfat atau asam lainnya⁽⁴⁾. Hidrolisis enzimatis memiliki beberapa keunggulan dibanding hidrolisis asam yaitu reaksi berlangsung pada kondisi ringan (pH 4,8 dan suhu 45-50°C) dan tidak menimbulkan masalah korosi. Bakteri dan jamur sama-sama dapat menghasilkan selulase untuk hidrolisis bahan lignoselulosa⁽⁵⁾.

Enzim selulase merupakan campuran dari beberapa enzim. Sedikitnya tiga kelompok enzim selulase yang berperan dalam proses hidrolisis selulosa: endoglukanase, yang berperan pada daerah dengan kristalinitas rendah dalam serat selulosa, menghasilkan ujung rantai bebas; eksoglukanase atau selobiohidrolase, yang mendegradasi lebih lanjut molekul tersebut dengan menghilangkan unit selobiosa dari ujung rantai bebas; glukosidase, yang menghidrolisis selobiosa menjadi glukosa⁽⁵⁾.

Selain tiga kelompok utama enzim selulase tersebut, terdapat sejumlah enzim penyokong yang menyerang hemiselulosa, seperti glukuronidase, asetilesterase, xylanase, -xylosidase, galaktomananase, dan glukomananase⁽⁵⁾.

Hemiselulase atau asam juga dapat menghidrolisis polimer hemiselulosa menjadi gula-gula. Pada hemiselulosa selain tersusun dari glukosa (gula heksosa karbon 6), juga mengandung pentosa (gula karbon 5) seperti xylosa dan arabinosa.

Glukosa, galaktosa dan mannanosa yang merupakan gula heksosa (karbon 6) secara cepat difermentasi menjadi etanol oleh organisme-

organisme yang ada di alam, tapi gula pentosa (karbon 5) seperti xylosa dan arabinosa hanya difermentasikan oleh sebagian kecil *strain* alam dan biasanya hasilnya sangat sedikit⁽⁴⁾. Xylosa dan arabinosa memiliki persentase cukup tinggi pada kayu, limbah pertanian, dan bahan lignoselulosa lainnya sehingga sangat penting untuk dapat memanfaatkan gula-gula ini agar proses konversi biomassa menjadi etanol menjadi semakin ekonomis dan efisien.

Fermentasi

Proses hidrolisis selulosa yang dilakukan secara terpisah dari proses fermentasi disebut *Separate Hydrolysis and Fermentation* (SHF), dan jika hidrolisis dan fermentasi dilakukan secara simultan disebut *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) di mana gula-gula yang dihasilkan dari hidrolisis selulosa atau proses sakarifikasi secara simultan difermentasi menjadi etanol. Kelebihan proses SSF dibandingkan SHF adalah meningkatkan kecepatan hidrolisis dengan konversi gula yang dapat menghambat aktivitas selulase, mengurangi kebutuhan enzim, meningkatkan rendemen produk, dapat mengurangi kebutuhan kondisi steril karena glukosa langsung dikonversi menjadi etanol, waktu proses lebih pendek, dan volume reaktor lebih kecil karena hanya digunakan satu reaktor saja⁽³⁾. Adapun kendala yang perlu diatasi pada proses SSF adalah suhu hidrolisis dan fermentasi yang tidak sama, toleransi mikroba terhadap etanol, dan penghambatan kerja enzim oleh etanol. Mikroorganisme yang digunakan dalam proses SSF biasanya adalah *T. reesei* dan *S. cerevisiae*. Suhu optimal SSF adalah sekitar 38°C yang merupakan hasil pertimbangan antara suhu optimal hidrolisis

(45-50°C) dan fermentasi (30°C)⁽⁵⁾.

Simultan sakarifikasi baik selulosa (menjadi glukosa) dan hemiselulosa (menjadi xylosa dan arabinosa) dan ko-fermentasi baik glukosa maupun xylosa melalui proses *Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation* (SSCF) dapat dilakukan oleh mikroba hasil rekayasa yang dapat memfermentasikan xylosa dan glukosa dalam *broth* yang sama sebagaimana hidrolisis enzimatis selulosa dan hemiselulosa⁽⁴⁾.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Emisi Karbondioksida

Hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium Balai Termodinamika, Motor dan Propulsi (TMP) BPPT menunjukkan emisi karbon monoksida dan hidrokarbon dari mobil yang menggunakan E10 (campuran bensin dan etanol 10%) secara umum lebih rendah dibandingkan dengan premium maupun pertamax. Emisi karbon monoksida E10 adalah 0,31 gram per km, sedangkan premium dan pertamax masing-masing 0,5 gram dan 0,58 gram per km⁽⁶⁾. Etanol dari bahan selulosa dapat menghasilkan penurunan sebesar 8 – 10 % emisi gas rumah kaca bila digunakan dalam E10 dan penurunan sebesar 68 – 91 % bila digunakan dalam E85⁽⁷⁾. Kenyataannya, penggunaan etanol sebagai bahan bakar terus berkembang. Pada tahun 1997, tercatat setidaknya 13.000 ton etanol diproduksi dan dipergunakan sebagai bahan bakar di banyak tempat di seluruh dunia⁽⁸⁾. Pembakaran etanol sangat bersih, kandungan oksigennya dapat menurunkan emisi jika dibakar bersama dengan bahan bakar biasa. Etanol juga dihasilkan dari bahan-bahan

organik sehingga tidak memberikan kontribusi pada akumulasi karbon dioksida di atmosfer⁽⁹⁾. Etanol juga merupakan bahan kimia yang banyak fungsinya dalam kehidupan sehari-hari⁽¹⁰⁾.

Kendala Pemanfaatan Biomassa dan Beberapa Pendekatan untuk Mengatasi Kendala Biomassa

Teknologi konversi biomassa lignoselulosa dari limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan menjadi etanol sampai saat ini masih terus dikembangkan dan belum dikomersialisasikan⁽⁶⁾. Hal ini dikarenakan biomassa lignoselulosa yang sangat melimpah dan potensial sebagai sumber energi terbarukan memiliki kendala-kendala yang membuat teknologi konversi biomassa lignoselulosa tidak kompetitif secara biaya. Kendala-kendala biomassa ini secara kolektif disebut sebagai "*biomass recalcitrance*"⁽²⁾.

Kendala-kendala pemanfaatan biomassa diantaranya adalah adanya komponen lignin yang menyelimuti molekul selulosa dan hemiselulosa, sehingga sulit untuk menjangkau selulosa dan hemiselulosa. Lignin menghambat laju hidrolisis dengan menghalangi akses selulase pada selulosa dan terjadi pengikatan secara *irreversible* pada enzim hidrolitik tersebut⁽³⁾.

Kendala lainnya dalam pemanfaatan biomassa lignoselulosa menjadi etanol adalah pemanfaatan komponen hemiselulosa yang memiliki persentase cukup tinggi dalam biomassa lignoselulosa. Hal ini dikarenakan hanya sedikit sekali mikroorganisme *strain* alam yang dapat mengkonversi gula karbon 5 dari hemiselulosa menjadi etanol.

Secara teoritis, berdasarkan rata-rata komponen kayu yang tersusun dari 42% selulosa dan 21% hemiselulosa, hasil teoritis maksimum etanol yang dihasilkan adalah 0,32 gram etanol per gram kayu. Perhitungan ini berdasarkan konversi selulosa dan hemiselulosa menjadi gula dan konversi gula menjadi etanol pada hasil teoritis 0,51 g/g⁽¹¹⁾.

Selain itu, masih banyak terdapat kendala lainnya seperti harga enzim selulase yang masih relatif mahal sehingga membuat konversi biomassa lignoselulosa menjadi etanol tidak kompetitif secara biaya.

Kendala-kendala yang terdapat pada biomassa ini dapat kita atasi dengan beberapa pendekatan, diantaranya dengan rekayasa katalis dan sistem biokonversi. Beberapa pendekatan itu diantaranya adalah:

- Pemanfaatan hemiselulosa yang terkandung dalam biomassa lignoselulosa. Hal ini dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti pencarian mikroorganisme *strain* alam yang dapat melakukan fermentasi pentosa (seperti xylosa dan arabinosa yang merupakan komponen pada hemiselulosa) menjadi etanol, sehingga dapat meningkatkan perolehan etanol yang dihasilkan atau melalui pendekatan rekayasa genetika untuk mengembangkan mikroorganisme yang dapat memfermentasikan gula heksosa dan pentosa menjadi etanol. Saat ini, mikroorganisme khusus telah direkayasa untuk dapat memfermentasikan gula karbon 5 menjadi etanol dengan efisiensi yang relatif tinggi⁽¹²⁾.
- Untuk mengurangi biaya enzim selulase dapat digunakan mikroorganisme yang menghasilkan selulase seperti *Trichoderma sp*, *P. chrysosporium*, dan *Sclerotium rolfii*. Selain itu, jika

menggunakan selulase dapat dilakukan *recovery* enzim selulase dari supernatan cair atau residu padat. *Recycling* enzim ini secara efektif dapat meningkatkan laju dan hasil hidrolisis dan menurunkan biaya enzim⁽⁵⁾.

Selain pendekatan-pendekatan tersebut, baru-baru ini terdapat ide untuk mengkombinasikan SSF dengan produksi enzim yang menghasilkan pendekatan baru dimana dalam pendekatan ini dilakukan rekayasa genetika mikroorganisme penghasil etanol atau etanologen (seperti *Saccharomyces cerevisiae*) menjadi pemecah selulosa atau selulolitik, ataupun dapat juga dilakukan rekayasa produsen selulase (seperti *Clostridium thermocellum*) menjadi etanologenik sehingga didapatkan mikroorganisme yang dapat sekaligus memecah selulosa menjadi glukosa dan mengubah glukosa ini menjadi etanol⁽²⁾.

PENUTUP

Biomassa yang selama ini digunakan untuk produksi etanol seperti jagung, ubi kayu, dan gula tebu merupakan biomassa yang menjadi sumber pangan bagi masyarakat sehingga harganya relatif mahal dan dapat mengganggu stabilitas pangan. Oleh karena itu, penggunaan bahan baku yang jauh lebih murah dan tersedia melimpah yaitu biomassa lignoselulosa yang merupakan residu pertanian dan kehutanan perlu terus dikembangkan.

Untuk dapat mengembangkan potensi biomassa lignoselulosa sebagai bahan baku produksi etanol masih diperlukan banyak riset dan pengembangan agar dapat menghasilkan suatu teknologi konversi biomassa lignoselulosa yang meliputi teknologi *pretreatment*, hidrolisis, dan fermentasi untuk biomassa

lignoselulosa agar lebih efisien, dan integrasi komponen-komponen optimal menjadi suatu sistem produksi etanol yang ekonomis.

Selain itu, perlu adanya peran pemerintah, misalnya dengan menetapkan kebijakan agar harga etanol dari biomassa lignoselulosa dapat bersaing dengan harga bahan bakar minyak.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Janick, J. and A. Whipkey, 2002. *Ethanol From Cellulose: A General Review. Trends in new crops and new uses*. Alexandria: ASHS Press.
- (2) Himmel, E. M., Ding, S. Y., Johnson, D. K., Adney, W. S., Nimlos, M. R., Brady, J. W., and Foust, T. D. 2007. "Biomass Recalcitrance: Engineering Plants and Enzymes for Biofuels Production." *Science* 315, 804.
- (3) Abdulla, K. 2000. "Biomass Energy Potentials And Utilization In Indonesia." Department of Agricultural Engineering, IPB And Indonesian Renewable Energy Society (IRES).
- (4) Mosier, N. Wyman, C., Dale, D., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M. and Ladisch, M. 2005. "Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass." *Bioresource Technology*, 96 : 673-686.
- (5) Sun Y. and J. Cheng, 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a Review. *Bioresource Technology*, 83: 1-11.
- (6) *Kompas*, 15 Februari 2005.
- (7) DiPardo, J. 2000. "Outlook for Biomass Ethanol Production and Demand." (<http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html>.)
- (8) Wilke, D. 1999. "Chemicals from Biotechnology: Molecular Plant Genetics Will Challenge the Chemical and Fermentation Industry." *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 52: 135-145.
- (9) Costello, R. and H. Chum, 1998. "Biomass, bioenergy and carbon management." In "Bioenergy '98: Expanding Bioenergy Partnerships" (D. Wichert, ed.), pp. 11-17. Omnipress, Madison, WI.
- (10) Euis, H. dan Endang Sukara, 2005. "Konversi Bahan Berlignoselulosa Menjadi Bioenergi, Etanol," Seminar Nasional Biomassa Lignoselulosa, Biokonversi menjadi Bahan-bahan yang bermanfaat, UNAIR, Surabaya, 12 Maret 2005.
- (11) Demirbas, A. 2005. "Bioethanol from Cellulosic materials: A renewable motor fuel from biomass." *Energy Sources*, 27: 327-337.
- (12) Kheshgi S. H. Prince, R. C., and Marland, G. 2000. "The Potential of Biomass Fuels in the Context of Global Climate Change: Focus on Transportation Fuels." *Annu. Rev. Energy Environ*, 25 : 199-244.