

PROSPEK ENZIM DAN LIMBAH LIGNOSELULOSA UNTUK PRODUKSI BIOETANOL

Trisanti Anindyawati *

* Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI
Jl. Raya Bogor Km. 46 Cibinong 16911

Naskah diterima tanggal : 07 April 2009

PROSPECT OF ENZYME AND LIGNOCELLULOSE WASTE FOR BIOETHANOL PRODUCTION

ABSTRACT

Substitution bioethanol as one of energy source has been selected as an alternative source for the fossil fuel substitution. The agricultural and industrial waste can be used for the production of bioethanol. The main component in those waste materials is lignocellulose that contained cellulose, hemicellulose and lignin. Lignocellulose will be the main source for bioethanol production in the long term. Several enzymes have been recorded in degrading lignocellulose which are cellulolytic, hemicellulolytic as well as lignolytic. The main enzyme which has the most important role in bioethanol production are complex enzymes which degrade lignocellulose. Bioethanol production is much affected by raw materials composition, type of microorganisms, and the fermentation condition used.

Key words: lignocellulose, cellulase, hemicellulase, lignin degrading enzyme, bioethanol

INTISARI

Bioetanol merupakan merupakan salah satu energi alternatif pengganti minyak bumi. Bahan limbah pertanian dan industri dapat digunakan untuk produksi bioetanol. Komponen utama pada limbah pertanian dan industri yang digunakan untuk produksi bioetanol adalah lignoselulosa yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Lignoselulosa merupakan bahan utama produksi bioetanol untuk jangka panjang. Enzim yang berperan dalam degradasi lignoselulosa adalah enzim yang bersifat selulolitik, hemiselulolitik dan lignolitik. Enzim utama yang berperan penting pada produksi bioetanol merupakan enzim kompleks yang mampu mendegradasi lignoselulosa. Produksi bioetanol sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan baku, jenis mikroorganisma dan kondisi fermentasi yang digunakan.

Kata kunci : lignoselulosa, selulase, hemiselulase, enzim pendegradasi lignin, bioetanol

PENDAHULUAN

Seiring dengan bertambahnya penduduk dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia, serta menipisnya cadangan minyak bumi, maka dicari energi alternatif untuk menunjang kebutuhan akan energi. Salah satunya dengan mengkonversi biomasa menjadi bioetanol. Kekayaan Indonesia yang berlimpah akan sumber daya hayati termasuk mikroorganisma, sangat memungkinkan untuk pemanfaatan biomasa/lignoselulosa menjadi bioetanol, yang sampai saat ini belum dikembangkan secara optimal. Penelitian pembuatan bioetanol telah lama dilakukan, umumnya menggunakan bahan dasar molases yang merupakan produk samping dari pabrik gula. Selain itu digunakan juga bahan berpati, antara lain singkong dan jagung yang berpotensi juga sebagai bahan pangan.

Teknologi yang mengkonversi biomasa menjadi bioetanol merupakan teknologi yang mempunyai nilai ekonomi tinggi, karena dapat memanfaatkan bahan limbah sebagai bahan baku. Melalui penerapan bioteknologi, dengan penggunaan mikroba sebagai penghasil enzim, diharapkan akan diperoleh teknologi yang ramah lingkungan dibandingkan dengan proses kimiawi yang selama ini banyak dilakukan.

Lignoselulosa adalah komponen organik di alam yang berlimpah dan terdiri dari tiga tipe polimer, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Komponen ini merupakan sumber penting untuk menghasilkan produk bermanfaat seperti gula dari proses fermentasi, bahan kimia dan bahan bakar cair. Lignoselulosa bisa diperoleh dari bahan kayu, jerami, rumput-rumputan, limbah pertanian/hutan, limbah industri (kayu, kertas) dan bahan berserat lainnya. Kandungan dari

ketiga komponen lignoselulosa bervariasi tergantung dari jenis bahannya. Sebagai contoh, kandungan selulosa pada kayu berkisar antara 45% dari berat kering yang merupakan polimer rantai panjang polisakarida karbohidrat 1,4- β -D-glukosa. Selulosa yang merupakan komponen utama, sangat erat berasosiasi dengan hemiselulosa dan lignin. Kandungan hemiselulosa yang merupakan polimer dari kompleks karbohidrat terdapat sekitar 25-30% (Perez *et al.*, 2002). Residu gula utama yang menyusun yaitu xilan, mannan, galactan dan glucan (Fengel and Wegener, 1995). Di alam, lignin merupakan bagian integral dari dinding sel tanaman dan terletak di dalam polimer matrik dari selulosa dan hemiselulosa. Kandungan lignin berkisar antara 20-40%, tergantung dari jenis kayunya (Maryana, 2006).

Dari sekian banyak bahan yang tersedia di alam selain bahan berpati, bahan lignoselulosa merupakan substrat terbanyak yang belum digunakan secara maksimal. Selama ini peruntukannya banyak untuk pakan. Akan tetapi komponen bahan lignoselulosa ini sangatlah kompleks, sehingga dalam penggunaannya sebagai substrat untuk produksi bioetanol harus melalui beberapa tahapan, antara lain delignifikasi untuk melepas selulosa dan hemiselulosa dari ikatan kompleks lignin, depolimerisasi untuk mendapatkan gula bebas dan fermentasi gula heksosa dan pentosa untuk mendapatkan produksi bioetanol.

Enzim pendegradasi lignoselulosa adalah selulase yang banyak digunakan dalam berbagai industri seperti industri makanan, farmasi, tekstil, detergen, dan sebagainya (Hidaka *et al.*, 1998). Umumnya enzim yang digunakan saat ini masih impor. Enzim dapat diproduksi oleh kelompok bakteri, kapang maupun khamir. Mikroba yang umum digunakan adalah *Trichoderma reesei* (Sim and Oh, 1993). Selain itu juga telah diteliti produksi selulase dari jenis mikroba lain seperti *Scopulariopsis brevicaulis* TOF 1212 (Nakatani *et al.*, 1998) dan *Ruminococcus albus* (Ohara, *et al.*, 1998). *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Neurospora*, *Fusarium*, *Aspergillus*, dan lain-lain juga menunjukkan adanya kemampuan aktivitas selulolitik dan hemiselulolitik yang tinggi pada proses fermentasi untuk menghasilkan gula (Chandel, *et al.*, 2007). Walaupun demikian, peluang untuk mengembangkan enzim dari mikroorganisma lain masih terbuka lebar.

Bahan baku untuk proses produksi bioetanol diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu gula, pati dan selulosa. Sumber gula yang berasal dari gula tebu, gula bit, molase dan buah-buahan, dapat langsung dikonversi menjadi etanol. Sumber dari bahan berpati seperti jagung, singkong, kentang dan akar tanaman harus dihidrolisis terlebih dahulu menjadi gula. Sumber selulosa yang berasal dari kayu, limbah pertanian, limbah pabrik pulp dan kertas, semuanya harus dikonversi menjadi gula dengan bantuan asam mineral (Lin and Tanaka, 2006).

Produksi bioetanol dapat dilakukan dengan menggunakan biomasa berupa bagas melalui proses sakarifikasi dan fermentasi serentak dengan menggunakan enzim xilanase (Samsuri, *dkk.*, 2007). Biokonversi glukosa menjadi bioetanol, memerlukan perantara mikroba lain yang umumnya menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dan *Zymomonas mobilis*. Beberapa hal penting yang perlu diketahui pada proses produksi bioetanol antara lain, komponen lignoselulosa dan enzim pendegradasinya.

Di dalam tulisan ini akan dibahas komponen dan enzim yang berperan dalam proses degradasi lignoselulosa untuk produksi bioetanol serta prospek ke depan dalam memenuhi kebutuhan akan bioetanol yang semakin meningkat.

KOMPONEN LIGNOSELULOSA

Selulosa

Selulosa adalah salah satu komponen utama dari lignoselulosa yang terdiri dari unit monomer D-glukosa yang terikat pada ikatan 1,4-glikosidik. Selulosa cenderung membentuk mikrofibril melalui ikatan inter dan intra molekuler sehingga memberikan struktur yang larut. Mikrofibril selulosa terdiri dari 2 tipe, yaitu kristalin dan amorf.

Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan salah satu penyusun dinding sel tumbuhan selain selulosa dan lignin, yang terdiri dari kumpulan beberapa unit gula atau disebut heteropolisakarida, dan dikelompokkan berdasarkan residu gula utama sebagai penyusunnya seperti xilan, mannan, galactan dan glucan. Hemiselulosa terikat dengan polisakarida, protein dan lignin dan lebih mudah larut dibandingkan dengan selulosa.

Di dalam kayu, kandungan hemiselulosa berkisar antara 25-30%, tergantung dari jenis kayunya. Hemiselulosa memiliki keragaman dengan selulosa yaitu merupakan polimer dari unit-unit gula yang terikat dengan ikatan glikosidik, akan tetapi hemiselulosa berbeda dengan selulosa dilihat dari komponen unit gula yang membentuknya, panjang rantai molekul dan percabangannya. Unit gula yang membentuk hemiselulosa dibagi menjadi beberapa kelompok, seperti pentosa, heksosa, asam heksuronat dan deoksiheksosa. Hemiselulosa merupakan suatu kesatuan yang membangun komposisi serat dan mempunyai peranan yang penting karena bersifat hidrofilik sehingga berfungsi sebagai perekat antar selulosa yang menunjang kekuatan fisik serat. Kehilangan hemiselulosa akan menyebabkan terjadinya lubang diantara fibril dan kurangnya ikatan antar serat.

Lignin

Lignin adalah bagian utama dari dinding sel tanaman yang merupakan polimer terbanyak setelah selulosa. Lignin yang merupakan polimer aromatik berasosiasi dengan polisakarida pada dinding sel sekunder tanaman dan terdapat sekitar 20-40%. Komponen lignin pada sel tanaman (monomer guasil dan siringil) berpengaruh terhadap pelepasan dan hidrolisis polisakarida.

ENZIM-ENZIM PENDEGRADASI LIGNOSELULOSA

Selulase

Selulase merupakan enzim kompleks yang terdiri dari eksoselulase atau ekso-biohidrolase, endoselulase atau endo- β -1,4-glukanase dan β -1,4-glukosidase atau selobiase. Ekso- β -1,4 glukanase atau selobiohidrolase bekerja dengan cara melepas unit-unit selobiosa dari ujung rantai selulosa. Aktivitasnya sangat tinggi pada selulosa kristal tetapi sangat rendah pada selulosa amorf. Endo- β -1,4-glukanase mampu menghidrolisis selulosa secara acak menghasilkan selodextrin, selobiosa dan glukosa. Enzim ini sangat aktif memutus ikatan selulosa yang dapat larut (amorf) seperti karboksil metil selulosa (CMC). Enzim β -1,4-glukosidase atau selobiase dapat menghidrolisis selobiosa dan selo-oligomer pendek lainnya untuk menghasilkan glukosa.

Hemiselulase

Hemiselulase adalah polimer heteropolisakarida yang merupakan multi enzim dengan komponen utama C5. Enzim-enzim yang termasuk komponen hemiselulase antara lain xilanase, β -mannanase, α -L-arabinofuranosidase, α -D-glucuronidase, β -xylosidase dan hemiselulolitik esterase (Shallom and Shoham, 2003). Hemiselulase banyak dihasilkan oleh kapang *Aspergillus* dan *Trichoderma* (Gerhartz, 1990).

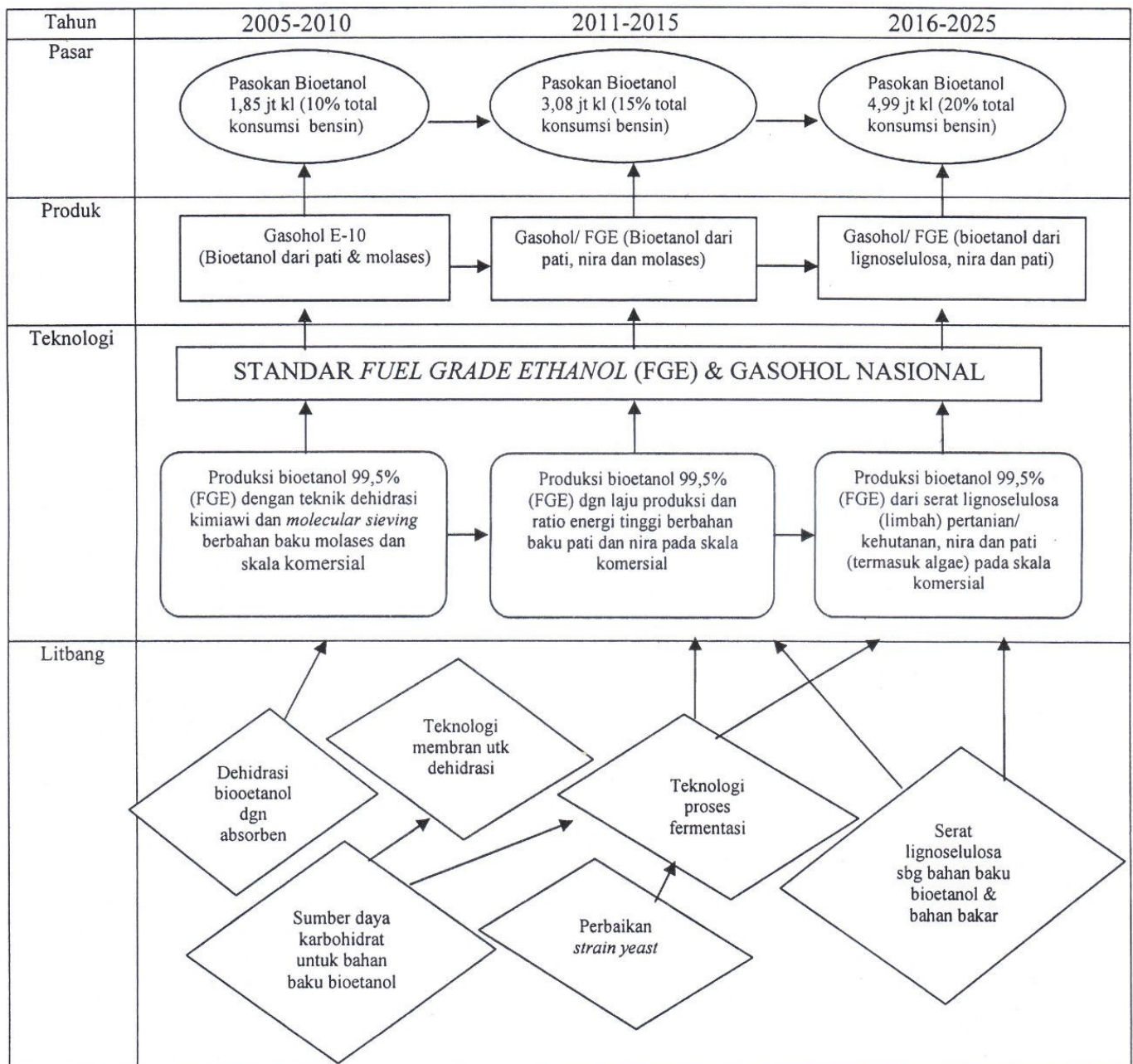
Enzim Pendegradasi Lignin

Enzim pendegradasi lignin (lignolitik) terdiri dari lakase (polifenol oksidase), lignin peroksidase (Li-P) dan mangan peroksidase (Mn-P). Ketiganya merupakan multi enzim ekstraseluler yang berperan dalam proses depolimerisasi lignin. Ketiga enzim tersebut dapat dihasilkan oleh jamur pelapuk putih *Omphalina* sp. dan *Pleurotus ostreatus* (Widyastuti, dkk., 2007). Lakase, selain berperan dalam proses bioremediasi, juga bermanfaat dalam industri kertas (*biopulping* dan *biobleaching*). Produksi lakase dari *Omphalina* sp. cukup potensial digunakan untuk mendelignifikasi material lignoselulosa dari tandan kosong kelapa sawit (Siswanto dkk., 2007).

Selain itu *Lentinus squarrosulus* dan *Psathyrella atroumbonata* juga diketahui dapat mendegradasi lignin (Wuyep, et al., 2003). Lobos, et al., (2001) melaporkan bahwa *Ceriporiopsis subvermispota* juga mempunyai kemampuan kuat dalam mendegradasi lignin. Selain dengan cara enzimatik, proses degradasi lignin dapat dilakukan secara kimia yaitu dengan menambahkan asam (asam sulfat, asam perklorat dan asam klorida).

PENGEMBANGAN LIGNOSELULOSA UNTUK PRODUKSI BIOETANOL

Target pasokan bioetanol dari tahun ke tahun semakin meningkat. Untuk menunjang tercapainya produksi bioetanol dalam jangka pendek, menengah dan jangka panjang, maka bahan dasar terutama lignoselulosa perlu digali lebih dini untuk dikaji potensinya. Seperti terlihat pada Gambar 1, prospek bioetanol yang bersumber dari bahan lignoselulosa merupakan suatu tantangan yang perlu dikaji dan diperhitungkan mengingat semakin meningkatnya permintaan akan bioetanol di masa yang akan datang



Gambar 1. Roadmap Sektor Energi Bioetanol (Sumber: Kementerian Negara Riset dan Teknologi, 2006)

Pada program jangka pendek (2005-2010), penelaahan produk berbasis pati dan molases untuk menghasilkan gasohol dengan menggunakan teknik dehidrasi kimia dan *molecular sieving*, diharapkan dapat memenuhi pasokan bioetanol 1,85 juta kilo liter atau 10% total konsumsi bensin. Untuk jangka menengah (2011-2015), perbaikan *strain yeast* untuk mendapatkan *strain/galur* unggul diperlukan pada tahap proses fermentasi agar diperoleh produksi bioetanol dengan konsentrasi tinggi (99,5%). Pada program jangka panjang (2016-2025), bahan baku serat lignoselulosa untuk produksi bioetanol dan bahan bakar, diharapkan selain menghasilkan gasohol dapat juga menghasilkan bioetanol dengan kadar tinggi (FGE) sehingga akan

meningkatkan pasokan bioetanol menjadi 4,99 juta kilo liter (20% dari total konsumsi bensin). Dapat diasumsikan bahwa untuk semua tahapan (jangka pendek sampai jangka panjang, diperlukan teknologi yang bisa menghasilkan bioetanol berstandar FGE yang tinggi (99,5%).

Bahan lignoselulosa adalah bahan-bahan yang mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin. Keberadaan lignin sangat menghambat proses degradasi selulosa dan hemiselulosa menjadi glukosa. Oleh karena itu, lignin harus dihilangkan baik secara kimia maupun secara enzimatik yang merupakan proses delignifikasi, dan setelah itu dapat dilakukan proses fermentasi untuk produksi bioetanol. Tahapan proses untuk

produksi bioetanol meliputi proses penghalusan bahan dasar, proses delignifikasi, sakarifikasi, fermentasi dan dilanjutkan proses pemurnian dengan cara destilasi. Perbedaan proses produksi bioetanol dari berbagai sumber dapat dilihat pada Gambar 2. Selain untuk produksi bioetanol, bahan-bahan yang meliputi gula, pati dan lignoselulosa dapat juga diproses menjadi produk yang bermanfaat lainnya seperti pupuk dan gas bio yang selanjutnya digunakan sebagai bahan bakar.

Komposisi kimia dari bahan mentah yang menstimulasi produksi bioetanol dapat dilihat pada Tabel 1. Bahan untuk fermentasi bioetanol mengandung berbagai polifenol lignin dan komponen lain yang terekstrak di dalamnya.

Komponen-komponen ini tidak langsung difermentasi oleh kebanyakan spesies *yeast*, tetapi diperlukan perlakuan awal untuk menghidrolisis senyawa kompleks menjadi gula sederhana.

Berbagai *yeast* yang berperan dalam produksi bioetanol diantaranya adalah *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces* dan *Candida* (Lin and Tanaka, 2006). Penggunaan spesies *yeast* yang berbeda dalam produksi bioetanol sangat berpengaruh terhadap konsentrasi bioetanol yang dihasilkan. Selain itu, konsentrasi bioetanol yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh suhu, pH, sumber karbon, sumber nitrogen dan waktu inkubasi dari masing-masing *yeast* selama fermentasi. Kondisi fermentasi yang optimum untuk produksi bioetanol dari berbagai sumber karbon terdapat pada Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi Kimia Bahan Mentah dan Stimulasi Produksi Etanol

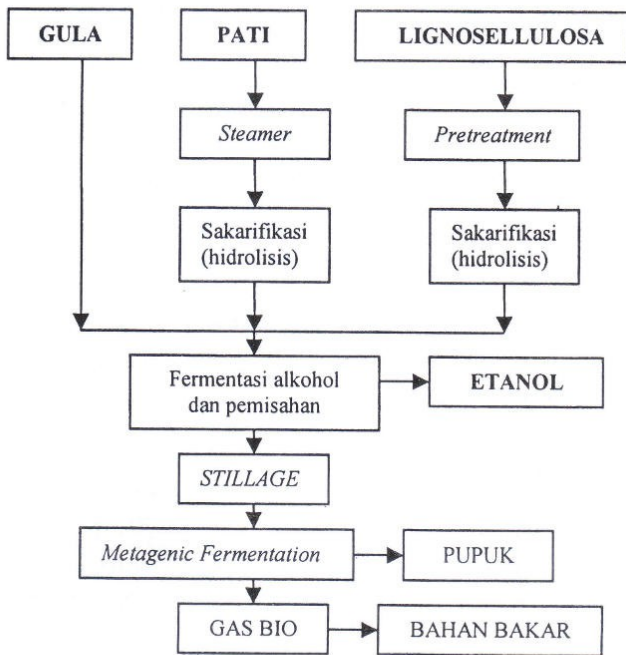
Bahan baku	Sellulosa/ Hexosans (H)	Hemiselulosa / Pentosans (P)	Lignin	Hasil etanol/ kg massa kering	Referensi
Bagas molases	33 (H)	30 (P)	29	0.279	Kuhad and Singh, 1993
Jerami gandum	30 (H)	24 (P)	18	0.239	Kuhad and Singh, 1993
Jerami sorgum	33 (H)	18 (P)	15	0.240	Kuhad and Singh, 1993
Jerami padi	32 (H)	24 (P)	13	0.248	Kuhad and Singh, 1993
Jerami oat	41 (H)	16 (P)	11	0.252	Kuhad and Singh, 1993
Bonggol jagung	42 (H)	39 (P)	14	0.358	Kuhad and Singh, 1993
Batang jagung	35 (H)	15 (P)	19	0.221	Kuhad and Singh, 1993
Jerami barley	40 (H)	20 (P)	15	0.265	Kuhad and Singh, 1993
Cangkang kacang yang digiling	38 (H)	36 (P)	16	0.327	Kuhad and Singh, 1993
Batang alfalfa	48.5	6.5	16.6	0.209	Shleser, 1994
Sekam padi	36 (H)	15 (P)	19	0.265	Kuhad and Singh, 1993
<i>Eucalyptus grandis</i>	38	13	37	0.225	Shleser, 1994
<i>Eucalyptus saligna</i>	45	12.0	25.0	0.252	Shleser, 1994
Cemara	44.0	26.0	29.0	0.310	Olsson and Hagerdal, 1996
Poplar	47.6	27.4	19.2	0.332	Olsson and Hagerdal, 1996
Serbuk gergaji	55.0	14.0	21.0	0.305	Olsson and Hagerdal, 1996
Willow	37.0	23.0	21.0	0.265	Olsson and Hagerdal, 1996
Aspen	51	29.0	16.0	0.354	Olsson and Hagerdal, 1996
Spruce	43.0	26.0	29.0		Olsson and Hagerdal, 1996
Birch	40.0	23.0	21.0	0.305	Olsson and Hagerdal, 1996
<i>Lantana camara</i>	42.50	22.70	22.88	0.288	Chandel (Unpublished work)
<i>Prosopis juliflora</i>	45.5	20.38	24.65	0.291	Chandel (Unpublished work)
<i>Saccharum spontaneum</i>	45.10	22.70	24.56	0.300	Gupta, 2006
<i>Eicchornia crassipis</i>	18.2	48.7	3.50	0.296	Nigam, 2002
<i>Paja brava</i>	32.2	28.1	24.0	0.267	Sanchez et al., 2004
Kertas koran	61	16	21	0.341	Olsson and Hagerdal, 1996
Kertas bekas	47	25	12	0.318	Olsson and Hagerdal, 1996
Kertas bekas limbah rumah tangga	43	13	6	0.248	Olsson and Hagerdal, 1996

Sumber : Chandel *et al.*, 2007

Tabel 2. Berbagai Spesies dan Kondisi *Yeast* dalam Memproduksi Bioetanol

Galur-spesies	Temperatur (°C)	pH	Sumber karbon dan konsentrasi (g/l)	Sumber nitrogen dan konsentrasi (g/l)	Waktu inkubasi (j)	Konsentrasi etanol yang dihasilkan (g/l)	Referensi
27817- <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30	5.5	Glukosa (50-200)	Pepton (2) dan amonium sulfat (4)	18-94	5.1-91.8	Vallet <i>et al.</i> 1996
L-041-S. <i>cerevisiae</i>	30 atau 35	-	Sukrosa (100)	Urea (1) atau amonium sulfat (1-2)	24	25-50	Leticia <i>et al.</i> 1997
181-S. <i>cerevisiae</i> (aerobik)	27	6.0	Glukosa (10)	Pepton (5.0)	40-160	-	Todor and Tsomka 2002
UO-1-S. <i>cerevisiae</i> (aerobik)	30	5.0	Sukrosa (20)	Amonium sulfat (1)	60-96	-	Camacho-Ruiz <i>et al.</i> 2003
V5-S. <i>cerevisiae</i>	24	-	Glukosa (250)	-	36	-	Virginie <i>et al.</i> 2001
ATCC 24860-S. <i>cerevisiae</i>	30	4.5	Molasses (1.6-5.0)	Amonium sulfat (0.72-2.0)	24	5-18.4	Ergun and Mutlu 2000
Bakers' yeast-S. <i>cerevisiae</i>	30	4.5	Gula (150-300)	-	192	53 (max)	Roukas 1996
Bakers' yeast-S. <i>cerevisiae</i>	28	5.0	Sukrosa (220)	Pepton (5) dan amonium dihidrogen fosfat (1.5)	96	96.71	Caylak and Vardar 1996
Fiso-S. <i>cerevisiae</i>	30	5.0	Galaktosa (20-150)	Pepton, amonium sulfat dan asam casamino (10)	60	4.8-40	da Cruz <i>et al.</i> 2003
A3-S. <i>cerevisiae</i>	30	5.0	Galaktosa (20-150)	Pepton, amonium sulfat dan asam casamino (10)	60	4.8-36.8	da Cruz <i>et al.</i> 2003
L52-S. <i>cerevisiae</i>	30	5.0	Galaktosa (20-150)	Pepton, amonium sulfat dan asam casamino (10)	60	2.4-32.0	da Cruz <i>et al.</i> 2003
GCB-K5-S. <i>cerevisiae</i>	30	6.0	Sukrosa (30)	Pepton (5)	72	27	Kiran <i>et al.</i> 2003
GCA-II-S. <i>cerevisiae</i>	30	6.0	Sukrosa (30)	Pepton (5)	72	42	Kiran <i>et al.</i> 2003
KR18-S. <i>cerevisiae</i>	30	6.0	Sukrosa (30)	Pepton (5)	72	22.5	Kiran <i>et al.</i> 2003
CMI237-S. <i>cerevisiae</i>	30	4.5	Gula (160)	Amonium sulfat (0.5)	30	70 (max)	Navarro <i>et al.</i> 2000
2.399-S. <i>cerevisiae</i>	30	5.5	Glukosa (31.6)	Urea (6.4)	30	13.7 (max)	Yu and Zhang 2004
24860-S. <i>cerevisiae</i>	-	-	Glukosa (150)	Amonium dihidrogen fosfat (2.25)	27	48 (max)	Ghasem <i>et al.</i> 2004
27774-Kluveromyces <i>fragilis</i>	30	5.5	Glukosa (20-120)	Pepton (2) dan amonium sulfat (4)	18-94	48.96 (max)	Vallet <i>et al.</i> 1996
30017-K. <i>fragilis</i>	30	5.5	Glukosa (20-120)	Pepton (2) dan amonium sulfat (4)	18-94	48.96 (max)	Vallet <i>et al.</i> 1996
30016-Kluveromyces <i>marxianus</i>	30	5.5	Glukosa (100)	Pepton (2) dan amonium sulfat (4)	18-94	44.4 (max)	Vallet <i>et al.</i> 1996
30091-Candida <i>utilis</i>	30	5.5	Glukosa (100)	Pepton (2) dan amonium sulfat (4)	18-94	44.4 (max)	Vallet <i>et al.</i> 1996
ATCC-32691 <i>Pachysolen tannophilus</i>	30	4.5	Glukosa (0-25) dan xilosa (0-25)	Pepton (3.6) dan amonium sulfat (3)	100	7.8 (max)	Sanchez <i>et al.</i> 1999

Sumber : Lin, Y. and S. Tamaka, 2006



Gambar 2. Diagram Alir Proses Pembuatan Bioetanol dari Bahan Baku Gula, Pati dan Ligno-Selulosa (Sumber: Wirawan, 2006)

PEMBAHASAN

Berdasarkan program pemerintah dalam mencari energi alternatif pengganti minyak bumi, maka berbagai cara telah dilakukan dan salah satunya adalah produksi bioetanol. Kurang lebih 90% bioetanol dunia berasal dari tanaman pangan, dimana 60% berasal dari gula tebu dan gula bit, sedangkan sisanya bahan berpati terutama pati jagung (Zaldivar, *et al.*, 2001). Bioetanol dapat diproduksi dari berbagai bahan seperti bagas, jerami dan sebagainya (Tabel 1). Disamping itu, limbah industri dan pertanian juga dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan bioetanol, diantaranya limbah dari pabrik gula, tandan kelapa sawit, kayu dan batang pisang. Bahan-bahan limbah tersebut mengandung lignoselulosa yang ketersediaannya sangat berlimpah dan belum digunakan secara maksimal. Pemanfaatan bahan lignoselulosa untuk produksi bioetanol dapat menjadi pertimbangan karena tidak bersaing dengan kebutuhan untuk pangan. Mengingat komponen bahan lignoselulosa sangat kompleks, maka penanganan untuk produksi bioetanol harus melalui beberapa tahapan.

Secara umum proses pembuatan bioetanol meliputi persiapan bahan baku, sakarifikasi, fermentasi dan pemurnian (Wirawan, 2006).

Persiapan bahan baku untuk bahan lignoselulosa termasuk *pretreatment* harus dilakukan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Hasil ini penting untuk pengembangan teknologi biokonversi dalam skala komersial. Dengan perlakuan ini dapat mengurangi jumlah enzim yang digunakan dalam proses hidrolisis, dan dapat meningkatkan hasil gula yang diperoleh. Hidrolisis merupakan proses pemecahan polisakarida di dalam biomasa lignoselulosa, yaitu selulosa dan hemiselulosa menjadi monomer gula yang dapat dilakukan secara kimia ataupun enzimatik. Dibandingkan proses secara kimia, hidrolisis secara enzimatik lebih menguntungkan karena ramah lingkungan.

Proses fermentasi dapat dilakukan dengan menggunakan *yeast* dari berbagai spesies yaitu *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces fragilis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Candida utilis* dan *Pachysolen tannophilus* dalam berbagai kondisi fermentasi (Tabel 2). Untuk mendapatkan bioetanol dengan kemurnian tinggi, harus dilakukan proses pemurnian dengan cara destilasi. Destilasi dilakukan untuk memisahkan etanol dari *broth* fermentasi yang sebagian besar adalah air. Untuk mendapatkan etanol sampai dengan kemurnian 95% volume, dilakukan destilasi bertingkat dengan mengumpulkan hasil destilasi pertama ke unit destilasi selanjutnya.

Dengan demikian, teknologi proses yang efektif menggunakan bahan baku lignoselulosa dapat menghasilkan produk bioetanol untuk memenuhi kebutuhan jangka panjang.

PENUTUP

Lignoselulosa merupakan bahan utama produksi bioetanol untuk jangka panjang selain bahan molases, bahan berpati, nira dan algae. Bahan baku lignoselulosa umumnya berasal dari bahan limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama dalam produksi bioetanol.

Enzim-enzim pendegradasi lignoselulosa untuk produksi bioetanol terdiri dari enzim-enzim kompleks yang bersifat selulolitik, hemiselulolitik dan lignolitik.

Kondisi optimum pada proses produksi bioetanol tergantung dari sumber karbon dan jenis mikroba pendegradasi. Selain itu, komposisi bahan mentah, jenis dan kondisi mikroba sangat berpengaruh terhadap konsentrasi bioetanol yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Usep Soetisna dan Dr. Tatik Khusniati (LIPI) atas diskusi dan saran-saran selama penyusunan makalah.

DAFTAR PUSTAKA

- Chandel, A. K., E.S. Chan., R. Rudravaram, M. L. Narasu, L. V. Rao, and P. Ravindra. 2007. *Economics and Environmental Impact of Bioethanol Production Technologies : An Appraisal*. Biotechnology and Molecular Biology Review Vol. 2 (1), 14-32.
- Fengel, D., G. Wegener. 1995. Kayu : Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi. Diterjemahkan oleh Hardjono Sastrohamidjoyo. Cetakan I, Gajah Mada University Press, Yogyakarta, hal. 124-154.
- Gerhartz, W. 1990. *Enzyme in Industry : Production and Application*. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D 6940 Weinheim. p. 81-82.
- Hidaka, H., T. Hamaya, and T. Adachi. 1993. *Industrial Application of Cellulase*. Proceeding of Mie Bioforum. Genetic, Biochemistry and Ecology of Lignocellulose Degradation. Uni Publishers Co. Ltd. p. 593-601.
- Kementerian Negara Riset dan Teknologi. *Indonesia 2005-2025. Buku Putih. Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan dan Ketersediaan Energi Tahun 2025*. 2006. Jakarta. hal. 34.
- Lin, Yan, and S. Tanaka. 2006. *Ethanol fermentation from biomass resources : current state and prospects*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 69: 627-642.
- Lobos, S., M. Tello, R. Polanco, L.F. Larrondo, A. Manubens, L. Salas, and R. Vicuna. 2001. *Enzymology and molecular genetics of the lignolytic system of the basidiomycete Ceriporiopsis subvermispora*. Current Science 81(8), 992-997.
- Maryana, R. 2006. *Pengembangan Bioetanol dari Starchy Materials dan Lignoselulosa Sebagai Salah Satu Energi Alternatif*. Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan. Hal 206-212.
- Nakatani, F., K. Minami, Y. Moriyama, S. Mitsuiki, T. Kawaguchi, J. Sumitani, S. Murao, and M. Arai. 1998. *Neutral Cellulase from a Fungus Scopulariopsis brevicaulis TOF-1212*. Proceeding of Mie Bioforum. Genetic, Biochemistry and Ecology of Lignocellulose Degradation. Uni Publishers Co. Ltd. p. 154-163.
- Ohara, O., S. Karita, T. Kimura, K. Sakka, and K. Ohmiya. 1998. *Cellulase Complex from Ruminococcus albus*. Annual Report of International Center for Biotechnology Vol. 21, p. 358-369.
- Perez, J., J.M. Dorado, T. Rubia, and J. Martinez. 2002. *Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin : an overview*. Int. Microbiol 5: 53-63.
- Sim, T.S., and J.C.S Oh. 1993. *Application of Trichoderma reesei Cellulases for Degradation of Lignocellulosic Compounds*. Proceeding of Mie Bioforum. Genetic, Biochemistry and Ecology of Lignocellulose Degradation. Uni Publishers Co. Ltd. p. 477-481.
- Samsuri, M., M. Gozan, R. Mardias, M. Baiquni, H. Hermansyah, A. Wijanarko, B. Prasetya, dan M. Nasikin. 2007. *Pemanfaatan sellulosa bagas untuk produksi etanol melalui sakarifikasi dan fermentasi serentak dengan enzim xylanase*. Makara, Teknologi Vol. 11 No. 1, 17-24.
- Shallom, D. and Y. Shoham. 2003. *Microbial Hemicellulases*. Current Opinion in Microbiology, 6: 219-228.
- Siswanto, Suharyanto, dan R. Fitria. 2007. *Produksi dan karakterisasi lakase Omphalina sp*. Menara Perkebunan, 75(2), 106-115.
- Widyastuti, H., Siswanto, dan Suharyanto. 2007. *Optimasi pertumbuhan dan aktivitas enzim lignolitik Omphalina sp dan Pleurotus ostreatus pada fermentasi padat*. Menara Perkebunan, 75(2), 93-105.
- Wirawan, S.S. *Current and Future Usage of Biofuels in Indonesia*. <http://www.science.org.au/events/indonesia/wirawan.pdf>. Diakses tanggal 03/06/09.
- Wuyep, P.A, A.U. Khan, and A.J. Nok. 2003. *Production and Regulation of Lignin degrading enzymes from Lentinus squarrosulus (mont.) Singer and Psathyrella atroumbonata Pegler*. African J. of Biotechnology 2(11) 444-447.
- Zaldivar, J., Nielsen, J., and Olsson. 2001. *Fuel ethanol production from lignocellulose : a challenge for metabolic engineering and process integration*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 56: 17-34.