

REKAYASA BIOPROSES PRODUKSI BIOETANOL DARI BIOMASSA LIGNOSELULOSA TANAMAN JAGUNG SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN

(Bioprocess Engineering for the Production of Bioethanol as Renewable Energy
from Corn Stover Lignocellulosic Biomass)

Djumali Mangunwidjaja¹⁾, Anas Miftah Fauzi, Sukardi, Wagiman²⁾

¹⁾Dep. Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, ²⁾Jurusan
Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM,

ABSTRAK

Biomassa tanaman jagung merupakan limbah pertanian yang melimpah di Indonesia, dan memiliki potensi sebagai substrat fermentasi. Cara paling efisien untuk memproduksi gula yang dapat difermentasi dari biomassa tanaman jagung adalah hidrolisis secara enzimatik, yang didahului perlakuan awal terhadap biomassa tanaman jagung. Pada penelitian ini, perlakuan awal dilakukan dengan kombinasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau jamur pelapuk putih (*Tremetes versicolor*, *Pleurotus ostretus*, and *Panerochaeta cryosporium*) and hidrottermolisis I and II. Jamur pelapuk putih sebagai biodelignifikator, hidrottermolisis I (120 °C, 2 jam) untuk melarutkan hemiselulosa, dan hidrottermolisis II (180-200 °C, 20 menit) untuk mengoptimalkan penetrasi enzim pada selulosa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa permukaan dinding sel tanaman jagung rusak (timbul pori-pori) karena proses perlakuan awal. Hasil bioetanol dari SSCF biomassa tanaman jagung menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* mencapai 3,06 g/L

Kata kunci : Bioetanol, tanaman jagung, perlakuan awal, hidrottermolisis, jamur pelapuk putih

ABSTRACT

Corn stover is the most abundant agricultural waste in Indonesia, and therefore has potential as an fermentation substrate. The most efficient means to produce fermentable sugars from corn stover is by enzymic hydrolysis, which is facilitated by pretreatment of the corn stover. In this research, pretreatment was conducted by combination of either $\text{Ca}(\text{OH})_2$ or White-rot fungus (*Tremetes versicolor*, *Pleurotus ostretus*, and *Panerochaeta cryosporium*) and hydrotermolysis I and II. White-rot fungus was as biodelignificator, hydrotermolysis I (120 °C at 2 hours) maximizes the solubilization of the hemicellulose fraction, and hydrotermolysis II (180-200 °C at 20 min) has been optimized for enzyme digestibility. The results indicated that the surface of cell wall of corn stover has been perforated by the pretreatment processes. The bioethanol yield from the SSCF of the treated corn stover using *Saccharomyces cerevisiae* reached 3,06 g/L.

Keywords : Bioethanol, corn stover, pretreatment, hydrotermolysis, white-rot fungus

PENDAHULUAN

Biomassa tanaman jagung umumnya dimanfaatkan sebagai pakan ternak, bahan bakar (langsung), dan sebagian besar tidak termanfaatkan. Bahan ini memiliki komposisi selulosa (36,6 %), hemiselulosa (22,6 %), dan lignin (16,6)

(Wiselogle 1996) sehingga potensial sebagai bahan baku bioetanol. Keuntungan pemanfaatan tersebut dapat meningkatkan pendapatan petani, menjaga ketahanan energi, memiliki sinergitas dengan kebutuhan pangan dan pakan, dan mencegah pencemaran lingkungan (Zhang, *et al.* 2003, Hill *et al.* 2006, Kim and Dale 2007, Nguyen *et al.* 2007).

Konversi lignoselulosa menjadi bioetanol melalui proses perlakuan awal, hidrolisis, fermentasi, dan pemurnian. Pengembangan agroindustri bioetanol dari lignoselulosa menghadapi kendala teknologi yaitu perlakuan awal biomassa, hidrolisis enzimatis, fermentasi gula C5, dan optimasi proses dan pemanfaatan bahan sisa (Zessen *et al.* 2003, Agbogbo and Coward-Kelly 2008, Huang *et al.* 2008).

Perlakuan awal pada biomassa tanaman jagung dapat menggunakan basa seperti $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Kaar and Holzapple 2000, Kim dan Holtzaple (2005, Chen *et al.* (2009) atau amoniak (Kim and Lee 2005). Perlakuan tersebut bertujuan untuk proses delignifikasi sehingga memudahkan proses selanjutnya. Penghancuran lignin juga dapat dilakukan dengan menggunakan jamur seperti *Aspergillus niger*, *Trichoderma reesei*, dan *Phanerochete chrysosporium* (Patel *et al.* 2007). Mosier *et al.* (2005a, 2005b) menggunakan *liquid hot water* dengan pH terkendali untuk perlakuan awal pada batang tanaman jagung dengan tujuan memaksimalkan kelarutan hemiselulosa. Sementara itu, Öhgren *et al.* (2007) memakai uap panas untuk perlakuan biomassa ini sebelum disakarifikasi dan fermentasi.

Hasil perlakuan awal di atas masih membutuhkan jumlah enzim yang banyak untuk proses hidrolisis dan pentosa (C5) tidak termanfaatkan bahkan terdegradasi menjadi senyawa inhibitor pada tahap fermentasi (Palmqvist and Hahn-Hagerdal 2000). Untuk memaksimalkan produksi bioetanol maka dilakukan pengembangan teknologi perlakuan awal sehingga menekan penggunaan enzim dan C5 dapat dikonversi menjadi bioetanol. Usaha strategis yang dilakukan yaitu pengambilan C5 dan C6, ko-fermentasi kedua jenis gula dalam satu unit operasi, dan menerapkan rekayasa genetika mikroba etanologik.

METODE PENELITIAN

Penyiapan Bahan Baku Lignoselulosa

Bahan baku lignoselulosa yang digunakan untuk produksi bioetnaol yaitu biomassa tanaman jagung yang terdiri dari tongkol, kelobot, batang dan daun jagung. Bahan dihancurkan dengan menggunakan *disc mill* sehingga diperoleh ukuran 40 mesh. Kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin, dan bahan ekstraktif ditentukan menggunakan metode *Mokushitsu Kagaku Jiken Manual* (2000).

Perlakuan Awal Bahan

Kemodelignifikasi Ca(OH)_2 dengan konsentrasi 0,1 g/g bahan (Sierra *et al.* 2008), waktu 1-2 jam, dan temperatur 75°C . Untuk biodelignifikasi menggunakan jamur *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus*, dan *Panerochaeta cryosporium*. Setelah likuifikasi dan sterilisasi, bahan dinokulasi jamur dan diinkubasi selama 1 dan 2 minggu.

Perlakuan awal dilanjutkan dengan hidrotermolisis I pada suhu 100°C sampai dengan 120°C selama 120 menit, sedangkan hidrotermolisis II pada suhu 180°C sampai dengan 200°C selama 20 menit.

Bioproses Simultan (Enzimatik-Fermentasi)

Padatan (3 g berat kering) dan hidrolisat (25 ml) ditambah 5 ml larutan nutrient (1,09 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,07 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 2,09 g yeast extract dalam 1 L). Untuk hidrolisis dengan pembebanan enzim selulase (10 ml, 11,5 U/ml) dan xilanase (5 ml, 72 U/ml). Proses fermentasi memakai *S. cereviceae* yang telah dikembangkan dulu pada media PDA dan PDB. Hasil fermentasi diukur dengan refraktometer setelah disaring menggunakan kertas saring milipor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Biomasa Lignoselulosa Tanaman Jagung

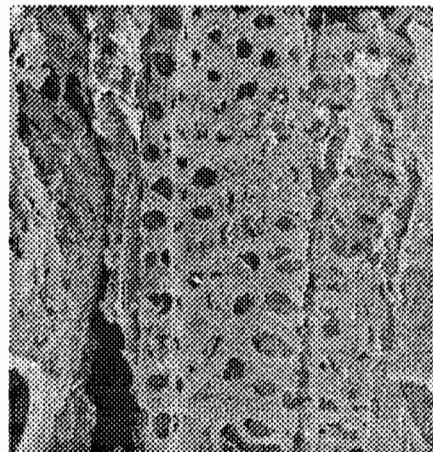
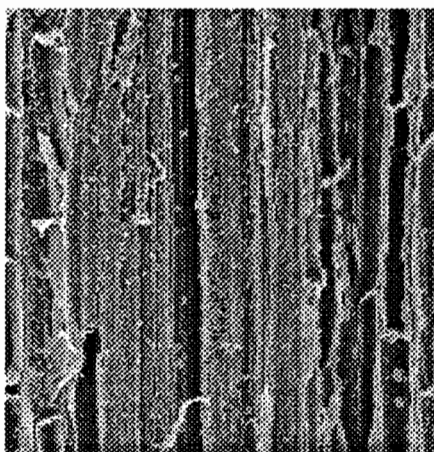
Batang merupakan komponen terbesar tanaman jagung yang mencapai 83,28 % total berat biomassa. Komposisi selulosa, hemiselulosa, lignin, dan bahan

ekstraktif dari biomasa limbah tanaman jagung berturut-turut adalah 53,15 %, 26,63 %, 11,18 %, dan 9,04 %. Persentase komponen selulosa lebih besar dibandingkan hasil penelitian Mossier *et al.* (2005) yaitu 37,50 %, kemungkinan disebabkan oleh perbedaan kadar air bahan. Komponen lignoselulosa tersebut tersusun dari beberapa senyawa yaitu 35,5 % (berat) glukukan, 20,8 % xilan, 2,7 % arabinan, 0,8 % mannan, 1,6 % galaktan, 17,6 % klon lignin, 6,7 % abu, 2,2 % grup asetil, 2,9 % protein, 3,6 % asam uronik, dan 3,6 % komponen lain yang tidak diketahui (NREL 2001).

Pengaruh Perlakuan Awal : $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan hidrotermolisis

Perlakuan awal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan hidrotermolisis menurunkan kandungan lignin dari 11,18 % menjadi 9,11 %. Penurunan tersebut disebabkan oleh pemutusan ikatan ester antara asam ferulat dengan arabinoksan (Ishii 1997, Jacquet *et al.* 1995, Lam and Iiyama 2000 dalam Buranov dan Mazza, 2009). Sementara itu, selulosa dan hemiselulosa dapat terdegradasi dengan basa jika disertai dengan aerasi (Kim, 2004).

Penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menimbulkan efek kerusakan pada dinding sel (Gambar 1) dan pemanasan menimbulkan efek pemecahan lignin yang lebih besar (Gambar 1). Pada hidrotermolisis II, lignoselulosa kehilangan sebagian hemiselulosa terutama xilosa. Penelitian Boussarsar *et al.* (2009) menunjukkan hasil yang sama dengan larutan xilosa 78%.



(a) $\text{Ca}(\text{OH})_2$, tanpa pemanasan

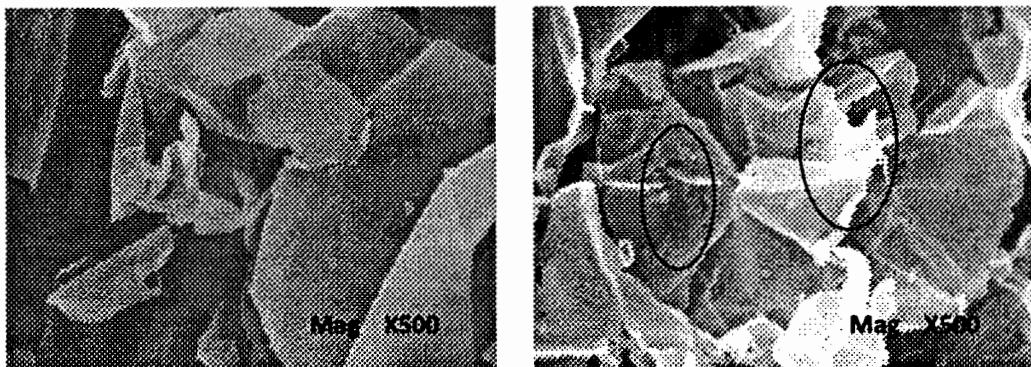
(b) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan pemanasan

Gambar 1. Pengaruh perlakuan kimiawi pada struktur bahan

Pengaruh Perlakuan Awal : Biodelignifikasi dan hidrotermolisis

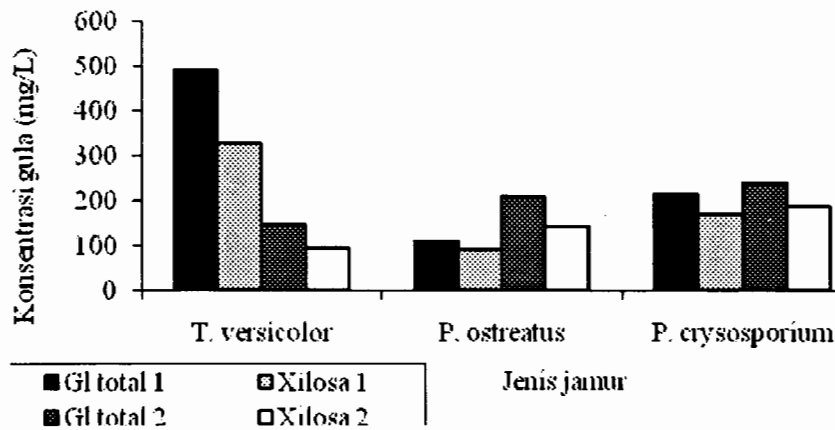
Hifa jamur pelapuk putih tumbuh dan berkembang melalui noktah dan juga menembus dinding sel serta *Lignin Modifying Enzymes* (LMEs). Jamur *T. versicolor* tumbuh lebih baik dibandingkan dua jenis jamur yang lain. Pada satu minggu inkubasi, 32,52 % berat substrat telah ditumbuhi jamur dan mencapai optimum pada inkubasi selama 2 minggu (47,55 %). Untuk *P. Ostreatus* dan *P. cryosporium* dapat melakukan penetrasi ke sekitar 20-30 % substrat.

Gambar 2 menunjukkan *scanning electron micrograph* (SEM) biomassa setelah biodelignifikasi sehingga timbul lubang-lubang bekas penetrasi hifa jamur. Efek juga terlihat pada bagian tepi dinding sel yang berwarna putih yang mengindikasikan komponen selulosa



Gambar 2. Dampak perlakuan biodelignifikasi pada dinding sel

Jamur mengkonsumsi selulosa sehingga terjadi pengurangan kandungan selulosa dalam bahan. Jamur *P. ostreatus* paling efektif sehingga selulosa turun dari 53,15 % menjadi 40,49 % dan lignin turun dari 11,18 % menjadi 7,77 %. Kondisi hemiselulosa berbeda, jamur *T. versicolor* mendegradasi hemiselulosa terbanyak pada 7 hari pertama, indikasinya yaitu 66 % dari gula total di dalam hidrolisat berupa xilosa (Gambar 3).

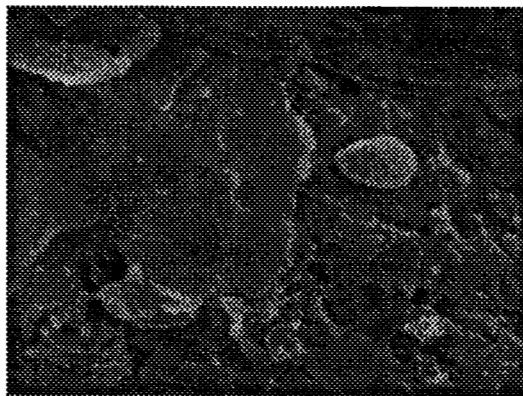


Gambar 3. Kandungan gula total dan xilosa pada tiga jenis jamur setelah inkubasi 7 hari (G1 Total 1 dan Xilosa 1) dan 14 hari (G1 Total 2 dan Xilosa 2)

Hasil SEM menunjukkan bahwa bahan yang telah ditumbuhi jamur pelapuk putih mudah rusak dengan perlakuan hidrotermolisis. Gambar 4 adalah SEM biomassa tanaman jagung yang telah diberi perlakuan menggunakan *T. versicolor* dengan inkubasi 2 minggu, hidrotermolisis 120 °C selama 2 jam, hidrotermolisis lanjut 180-200 °C selama 20 menit.

Biokonversi

Selulosa dan xilosa baik yang terdapat pada padatan maupun hidrolisat setelah perlakuan awal dihidrolisis dengan enzim dan difermentasi menggunakan *S. cereviceae*. Proses ini masih merupakan tahap awal (control) biokonversi lignoselulosa tanaman jagung menjadi bioetanol. Bioetanol yang diperoleh dengan proses ini adalah 4,0 ml/L atau 3,06 g bioetanol per liter sepernatan.



Gambar 4. SEM batang tanaman jagung setelah perlakuan jamur pelapuk putih dan hidrotermolisis (I dan II)

KESIMPULAN DAN SARAN

Biomassa tanaman jagung berpotensi menjadi bahan baku produksi bioetanol karena mengandung selulosa dan hemiselulosa yang tinggi. Perlakuan awal dengan Ca(OH)_2 dilanjutkan dengan hidrotermolisis (I dan II) memberikan hasil lebih baik dibandingkan dengan perlakuan jamur pelapuk putih dan hidrotermolisis (I dan II).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah menyediakan dana penelitian melalui Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional tahun 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- Agbogbo FK and Coward-Kelly G. 2008. Cellulosic ethanol production using naturally occurring xylose-fermenting yeast, *Pichia stipitis*. *Biotechnol Lett* 30 : 1515-1524
- Boussarsar H, Rogé B, Mathlouthi, M. 2009. Optimization of Sugarcane Bagasse Conversion by Hydrothermal Treatment for The Recovery of Xylose. *Bioresource Technology* 100 : 6537-6542.
- Chang VS, Burr B, Holtzapple MT. 1997. Lime Pretreatment of Switchgrass. Abstrak. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 3 : 65-67.
- Chen M, Zhao J, Xia L. 2009. Comparison of Four Different Chemical Pretreatment of Corn Stover for Enhancing Enzymatic Digestibility. *Biomass and Bioenergy* 33 : 1381-1385.
- Hill J, Nelson E, Tilman D, Polasky S, Tiffany D. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0604600103, pp. 11206-11210.
- Huang H-J, Ramaswamy S, Al-Dajani W, Tschirner U, Cairncross RA. 2000. Effect of biomass species and plant size on cellulosic ethanol : A comparative process and economic analysis. *Biomass and Bioenergy*, in press.

- Kaar WE. And Holtzaple MT. 2000. Using Lime Pretreatment to Facilitate the Enzymic Hydrolysis of Corn Stover. *Biomass and Bioenergy*. 18 : 189-199.
- Kim TH, Lee YY. 2005. Pretreatment and fractionation of corn stover by ammonia recycle percolation process. *Bioresource Technology* 96 : 2007–2013.
- Kim S and Holtzaple MT. 2005. Lime Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover. *Bioresource Technology* 96 : 1994–2006.
- Kim S and Dale BE. 2007. Life Cycle Assessment of fuel ethanol derived from corn grain via dry milling. *Bioresource Technology*, in pres.
- Mokushitsu Kagaku Jiken Manual. 2000. Japan Wood Research Society Publisher.
- Mosier N, Hendrickson R, Ho N, Sedlak M, Ladisch M. 2005a. Optimization of pH controlled liquid hot water pretreatment of corn stover. *Bioresource Technology* 96 : 1986–1993.
- Mosier N, Wyman C, Dale B, Elander R, Lee YY, Holtzaple MT, Ladisch M. 2005b. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 96 : 673–686.
- Nguyen, Thu Lan Thi, Shabbir H. Gheewala, Savitri Garivait. 2007. Energy Balance and GHG-abatement Cost of Cassava Utilization for Fuel Ethanol in Thailand. *Energy Policy* 35: 4585-4595.
- Olofsson K, Bertilsson M, Iden G. 2008. A short review on SSF-an interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Biotechnology for Biofuel* 1:7, 1-14.
- Öhgren K, J Vehmaanperä, M Siika-Aho, M Galbe, L Viikari, G Zacchi. 2007. High temperature enzymatic prehydrolysis prior to simultaneous saccharification and fermentation of steam pretreated corn stover for ethanol production. *Enzyme and Microbial Technology* 40 : 607-613.
- Palmqvist E, Hahn-Hagerdal B. 2000. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates, I : inhibitors and mechanisms of inhibition. *Bioresource Technology* 74 : 25-33.
- Patel SJ, Onkarappa R, Shobba, KS. 2007. Study of ethanol production from fungal pretreated wheat and rice straw. *The Internet Journal of Microbiology* 4, no. 1.
- Sierra R, Smith A, Granda C, Holtzaple MT. 2008. Producing fuels and chemicals from lignocellulosic Biomass. SBE Special Edition : Biofuels. www.aiche.org/SBE/Publication/Articles.aspx. Akses: 27/10/2008

- Teh-An H. 1996. Pretreatment of Biomass dalam Handbook on Bioethanol : Production and Utilization edited by Charles E. Wyman, Taylor & Francis.
- Wyman CE, Dale BE, Elander RT, Holtzaple MT, Ladisch MR, Lee YY. 2005. Comparative Sugar Recovery Data from Laboratory Scale Application of Leading Pretreatment Technologies to Corn Stover. *Bioresource Technology*. 96 : 2026–2032.
- Zessen, EV, M. Weismann, RR Bakker, HW Elbersen, J.H. Reith, H. den Uil (2003): *Ligno Cellulosic Ethanol*, Report 2GAVE-03.11
- Zhang C, Han W, Jing X, Pu G, Wang C. 2003. Life cycle economic analysis of fuel ethanol derived from cassava in southwest China. *Renewable & Sustainable Energy Reviewa* 7 : 353-366