

**PEMANFAATAN SERBUK KAYU UNTUK PRODUKSI ETANOL DENGAN PERLAKUAN
PENDAHULUAN DELIGNIFIKASI MENGGUNAKAN JAMUR
*PHANEROCHAETE CHRYSOSPORIUM***

DENNY IRAWATI^{1*}, NORMAN RAZIEF AZWAR², WASRIN SYAFII³ & I MADE ARTIKA²

¹Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta

²Departemen Biokimia, Fakultas MIPA IPB, Bogor

³Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Bogor

ABSTRACT

*Currently, Indonesia is in the middle of petroleum crisis. One of the alternative fuels which can be used as a petroleum substitute is ethanol. Ethanol can be produced from timber waste (sawdust). Indonesia in 2003 had timber waste potency of about 3~4 millions m³. However, ethanol production from sawdust has problems due to its lignin content. Therefore, research on bio-delignification treatment of sawdust prior to ethanol making process is required. In the present study ethanol was produced by simultaneous saccharification and fermentation (SSF) using crude cellulose from *Trichoderma viride* and *Saccharomyces cerevisiae*. The raw materials for ethanol production are sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen syn.), meranti (*Shorea* sp.) and teak (*Tectona grandis* LINN.f.) sawdust after pretreatment with white rot fungi *Phanerochaete chrysosporium* for 10, 20 and 30 days incubation time. The yield of ethanol was between 1.65~44.83 g/l. The best combination treatment is sengon sawdust with 30 day incubation time.*

Keywords : *sawdust, white rot fungi Phanerochaete chrysosporium, ethanol*

* Penulis untuk korespondensi: Telp./Fax. : 0274- 550541, E-mail: dirawati@ugm.ac.id

PENDAHULUAN

Saat ini di Indonesia tengah terjadi krisis bahan bakar minyak. Harga bensin sebagai bahan bakar kendaraan bermotor mulai tanggal 1 Juni 2008 meningkat dari Rp 4.500,00 menjadi Rp 6.000,00 per liter. Ketergantungan akan bahan bakar minyak dapat merugikan, karena selain potensinya yang akan habis, juga menyebabkan pencemaran udara yang cukup tinggi. Oleh karena itu perlu dicari bahan bakar alternatif yang salah satunya adalah bioetanol.

Menurut Bruce dan Palfreyman (1998) etanol dapat diproduksi dari sumberdaya yang dapat diperbaharui seperti biomasa yang dikategorikan ke dalam

bahan-bahan berbasis gula (gula tebu, gula beet dan sorgum manis), pati (biji-bijian yaitu : jagung, gandum, beras; serta umbi-umbian yaitu : kentang, ketela pohon, ubi jalar) dan lignoselulosa (kayu, jerami, bagase, dan sebagainya). Penggunaan bahan baku berbasis gula dan pati memang lebih mudah pada proses pembuatan etanol, akan tetapi penggunaan bahan baku tersebut bersaing dengan pemanfaatannya yang lebih tinggi yaitu sebagai sumber bahan makanan. Penggunaan bahan baku lignoselulosa, selain harganya lebih murah, potensinya lebih besar dan tidak bersaing dengan pemanfaatan lain. Hasil penelitian Itoh *et al.* (2003), dengan menggunakan bahan baku kayu *Beech* yang diberi perlakuan

pulping dan tidak diberi perlakuan pulping, menghasilkan etanol berturut-turut sebanyak 0,294 g/g dan 0,176 g/g.

Di lain pihak, Indonesia adalah salah satu negara tropis yang memiliki kawasan hutan yang luas yang terdiri dari ribuan tumbuhan penghasil kayu terutama dari jenis daun lebar. Menurut data statistik dari Departemen Kehutanan (2004), pada tahun 2003 produksi log Indonesia mencapai 10.086.217,06 m³ yang berasal dari hutan alam, hutan tanaman industri dan hutan rakyat. Perkembangan industri per kayu yang pesat tentunya juga menimbulkan hasil samping berupa limbah. Dalam proses pengolahan kayu hanya sekitar 60-70% dari komoditi kayu yang diolah menjadi produk, dengan limbah sisa kayu dan serbuk gergajiannya mencapai jumlah kurang lebih 30-40% (Darmaji *et al.*, 1998) atau sekitar 3,03-4,03 juta m³ untuk tahun 2003.

Proses pengolahan serbuk kayu menjadi etanol dapat dilakukan dengan menggunakan metode sakarifikasi-fermentasi secara simultan. Sakarifikasi fermentasi secara simultan adalah suatu proses yang dapat dilakukan untuk mengubah selulosa kayu menjadi etanol dalam 1 tahap fermentasi. Dalam proses ini selulosa kayu dihidrolisa oleh kompleks enzim selulase dan setiap glukosa yang terbentuk langsung dimanfaatkan oleh yeast untuk diubah menjadi etanol, sehingga dengan demikian konsentrasi glukosa yang terdapat di dalam medium selalu rendah dan memberi kemungkinan hasil etanol yang maksimum (Sjamsuriputra *et al.*, 1986).

Kendala yang dihadapi hidrolisis serbuk kayu dengan cara enzimatik yang menyebabkan rendahnya laju hidrolisis, salah satunya adalah adanya kandungan lignin dalam serbuk kayu tersebut. Hasil penelitian Irawadi (1991), menunjukkan bahwa hidrolisis dengan menggunakan enzim yang sama pada substrat selulosa murni menghasilkan total gula pereduksi

yang lebih tinggi (673 mg/g), dibandingkan substrat serbuk gergaji (40 mg/g). Lignin menyebabkan aksesibilitas enzim menjadi rendah terhadap polisakarida.

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai perlakuan pendahuluan untuk penghilangan lignin dari serbuk kayu sebelum perlakuan sakarifikasi-fermentasi simultan guna meningkatkan kemampuan hidrolisis dari enzim. Penghilangan lignin dapat dilakukan secara kimia maupun secara biologi. Cara biologi (biodelignifikasi) yang selain lebih murah, juga lebih ramah terhadap lingkungan, sering dilakukan dengan menggunakan jamur, yaitu jamur pelapuk putih (*white-rot fungi*) yang mampu mendegradasi lignin dan memanfaatkan hasilnya untuk proses metabolisme tubuhnya.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk 3 jenis kayu, yaitu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen syn.), meranti merah (*Shorea* sp.) dan jati (*Tectona grandis* LINN.f.) yang diperoleh dari berbagai industri kayu atau penggergajian kayu di daerah Jogjakarta. Jamur pelapuk putih yaitu spesies *Phanerochaete chrysosporium* Burdsall. tipe NRRL 6361 diperoleh dari laboratorium Mikologi, Fakultas Biologi IPB, kapang *Trichoderma viride* Person and Fries tipe CBS 392.92 dan yeast *Saccharomyces cereviceae* Meyen ex Hansen, tipe # 254 (*red star*) diperoleh dari laboratorium Mikrobiologi, PAU Pangan dan Gizi UGM. Bahan kimia untuk mengisolasi komponen kimia kayu antara lain: alkohol, benzene, NaOH, HCl, KOH, CH₃COOH, Na₂SO₃ dan H₂SO₄. Bahan kimia untuk pengujian aktivitas enzim.

Pelaksanaan penelitian

Persiapan sampel

Serbuk kayu yang akan digunakan terlebih dahulu diayak dengan ukuran lolos 40 mesh tertahan 60 mesh, dikering udarkan dan dianalisis komponen kimianya yaitu : selulosa (TAPPI T17 wd-70) (Anonimus, 1992), holoselulosa, lignin dan ekstraktif (ASTM D-1102 s.d 1110) (Anonimus, 1984). Selanjutnya 30 gr (berdasar BKT) serbuk kayu yang telah disterilkan diserangkan jamur *Phanerochaete chrysosporium* Burdsall. dan diinkubasi selama 10, 20 dan 30 hari.

Produksi enzim selulase

Metode produksi enzim selulase dari *T. viride* mengacu pada Jeffries (1987). *T. viride* ditumbuhkan dalam media PDA selama 5 hari. Setelah itu dibuat suspensi spora dan sebanyak 10% (v/v) suspensi dipipet, dimasukkan ke dalam 100 ml media cair dan ditambahkan selulosa teknis sebanyak 1 g serta 0,1 g proteosa pepton. Lalu diinkubasi pada shaker inkubator dengan kecepatan 5 rpm pada suhu 28°C, selama 10 hari. Enzim yang dihasilkan dipanen dengan cara memisahkan miselium dari filtrat menggunakan penyaring vakum.

Sakarifikasi fermentasi simultan

Kondisi proses sakarifikasi fermentasi secara simultan adalah mengikuti kondisi optimal hasil penelitian Itoh *et al.* (2003) yang dimodifikasi. Media sakarifikasi fermentasi terdiri dari: serbuk kayu yang telah diberi perlakuan jamur *P. chrysosporium* sebanyak 10 g BKT, media nutrient 50 ml, enzim selulase 5 FPU, 10% (v/v) inokulum yeast *S. cereviceae*, dan 2 ml buffer Na-sitrat (pH 4,8). Media tersebut kemudian dimasukkan ke dalam labu fermentasi yang dilengkapi penutup berleher angsa. Sakarifikasi fermentasi dilakukan pada shaker

berkecepatan 12 rpm dengan suhu 30°C selama 72 jam.

Analisis kuantitatif etanol

Analisis kuantitatif etanol dilakukan menggunakan kromatografi gas pada kondisi sebagai berikut: detektor FID, kolom 15% carbowax- 20 m, panjang kolom 2 m, diameter 0,4 cm, suhu detektor 120°C, suhu injektor 120°C, suhu kolom 80°C, kecepatan gas pembawa N₂ 30 ml/menit, gas pembakar H₂ 1 kg/cm² dan udara 1kg/cm², attenuasi 8. Recorder integrator C-R6A.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan jamur Phanerochaete chrysosporium Burdsall.

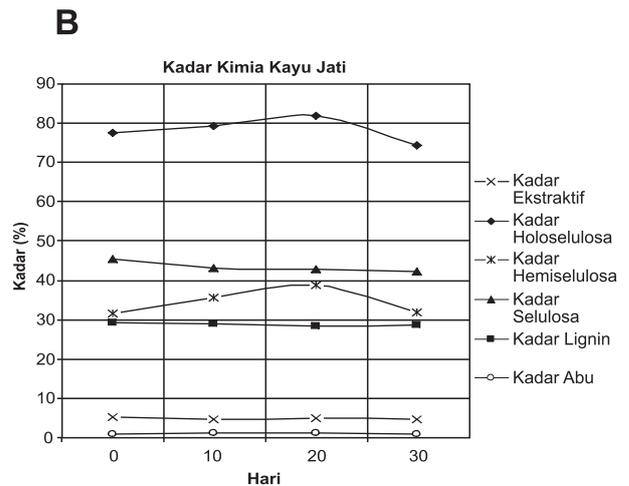
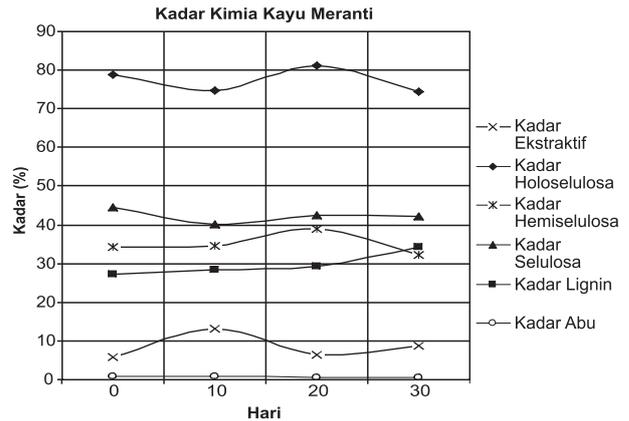
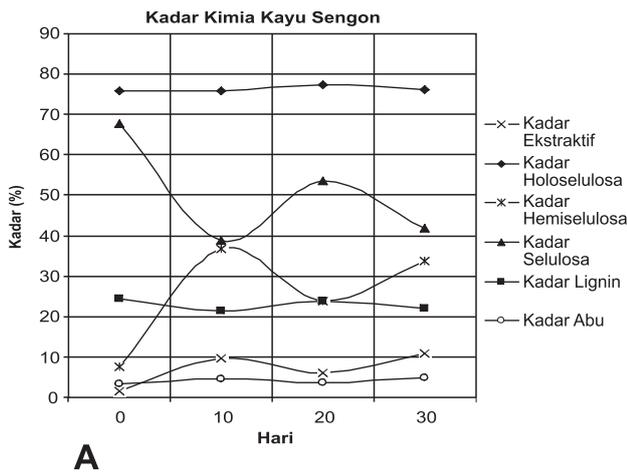
Isolat jamur *Phanerochaete chrysosporium* Burdsall. yang digunakan pada penelitian ini ditumbuhkan pada 10 ml media PDA dengan kondisi suhu 35-40°C. Setelah waktu inkubasi 10, 20 dan 30 hari spora *P. chrysosporium* pada serbuk kayu, secara visual pertumbuhan jamur yang paling banyak adalah pada serbuk kayu sengon, kemudian pada serbuk kayu jati dan paling sedikit pada serbuk kayu meranti.

Lambatnya pertumbuhan jamur pada serbuk kayu meranti dikarenakan lignin kayu meranti, yang digunakan sebagai sumber karbon untuk proses metabolisme sekunder oleh jamur, memiliki nilai S/G rasio yang rendah, yaitu 1,87 (Syafii, 2001). Hal ini berarti bahwa lignin kayu meranti memiliki kandungan guaiasil yang tinggi. Guaiasil lignin sulit didegradasi oleh jamur karena memiliki struktur bifenil yang tinggi dengan gugus-gugus fenol yang lebih tahan terhadap pembentukan radikal-radikal fenoksi dari jamur (Fengel & Wegener, 1995). Selain itu kadar ekstraktif yang tinggi dari serbuk kayu meranti dan jati yang digunakan, yaitu berturut-turut 5,96% dan 5,43% diduga juga ikut berperan sebagai

penyebab tidak tumbuhnya jamur *P. chrysosporium* dengan baik. Fengel dan Wegener (1995) menyatakan bahwa sejumlah kayu mengandung senyawa-senyawa ekstraktif yang dapat bersifat racun atau mencegah pertumbuhan bakteri, jamur dan rayap.

Kandungan kimia kayu

Sebelum dan setelah diberi perlakuan pendahuluan dengan jamur *P. chrysosporium* dilakukan analisis terhadap kandungan kimia masing-masing serbuk kayu. Rata-rata hasil analisis kandungan kimia serbuk kayu disajikan pada Tabel 1 dan perubahan kandungan kimia kayu yang terjadi selama waktu inkubasi pada berbagai serbuk kayu disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. A. Grafik kadar kimia kayu serbuk kayu sengon. B. Grafik kadar kimia kayu serbuk kayu meranti. C. Grafik kadar kimia kayu serbuk kayu jati

Tabel 1. Nilai rata-rata kadar ekstraktif, kadar abu dan kadar lignin kayu (%)

Jenis Serbuk Kayu	Hari	Sifat Kayu						
		K. air	K. ekstraktif	K. abu	K. holoselulosa	K. hemiselulosa	K. selulosa	K. lignin
Sengon	0	64.06	1.88	3.67	75.76	7.82	67.94	24.69
	10	57.45	9.78	4.71	75.90	36.77	39.13	21.58
	20	58.34	6.34	4.01	77.50	23.87	53.63	24.07
	30	62.88	11.14	5.14	76.12	34.04	42.07	22.19
Meranti	0	64.33	5.96	0.85	78.78	34.35	44.43	27.38
	10	47.99	13.12	0.92	74.77	34.61	40.17	28.45
	20	54.71	6.48	0.58	81.28	38.91	42.37	29.45
	30	52.69	8.92	0.67	74.50	32.16	42.34	34.34
Jati	0	63.93	5.43	1.28	77.46	31.8	45.67	29.46
	10	59.87	4.76	1.58	79.23	35.88	43.35	29.14
	20	57.24	5.13	1.54	81.80	38.84	42.96	28.59
	30	55.03	4.85	1.06	74.43	31.93	42.5	28.97

Kadar air

Selama waktu inkubasi, kadar air serbuk kayu mengalami penurunan. Pada serbuk kayu sengon penurunan kadar air ini berkisar antara 1,8-10,3% dibanding kontrol, pada serbuk kayu meranti berkisar antara 15-25,4% dibanding kontrol, sedangkan pada serbuk kayu jati berkisar antara 6,4-13,9% dibanding kontrol. Pengurangan kadar air dikarenakan pemanfaatan air tersebut oleh jamur untuk proses metabolisme dalam tubuhnya. Jamur dapat tumbuh dengan baik pada kelembaban kurang lebih 80%, dan pada kondisi lingkungan yang hipotonik cairan dari lingkungan akan masuk ke dalam sel jamur. Keadaan yang kering dapat menyebabkan proses pengeringan protoplasma yang berakibat berhentinya kegiatan metabolisme (Waluyo, 2004). Selain itu diduga juga terjadi penguapan dari kadar air serbuk karena suhu inkubasi yang digunakan untuk pertumbuhan optimum jamur *P. chrysosporium* adalah 35-40°C. Kadar air tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu meranti dengan waktu inkubasi 0 hari (64,33%), sedangkan kadar air terendah terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu meranti dengan waktu inkubasi 10 hari (47,99%).

Kadar ekstraktif

Selama waktu inkubasi, kadar ekstraktif serbuk kayu mengalami kenaikan pada jenis serbuk kayu sengon yaitu sebesar 237,4-492,9% dibanding kontrol, dan pada serbuk kayu meranti sebesar 8,7-120% dibanding kontrol. Sedangkan kadar ekstraktif pada kayu jati adalah relatif tetap, mengalami sedikit penurunan yang tidak berbeda nyata yaitu berkisar antara 5,6-12,3% dibanding kontrol, yang diduga dikarenakan adanya penguapan dari zat-zat ekstraktif yang bersifat volatile atau mudah menguap pada suhu inkubasi yang di atas suhu ruang yaitu 35-40°C. Selain itu karena jenis ekstraktif pada kayu jati yang bersifat racun terhadap mikroorganisme, menyebab-

kan jamur *P. chrysosporium* tidak tumbuh dengan baik di media serbuk kayu jati tersebut. Kadar ekstraktif tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu meranti dengan waktu inkubasi 10 hari (13,12%), sedangkan kadar ekstraktif terendah terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu sengon dengan waktu inkubasi 0 hari (1,88%).

Kenaikan kadar ekstraktif setelah waktu inkubasi pada serbuk kayu sengon dan meranti, dikarenakan miselia jamur *P. chrysosporium* yang tumbuh pada serbuk kayu ikut terekstrak oleh pelarut yang digunakan. Dinding sel miselia jamur tersusun atas kitin, selulosa atau glukukan (Pelczar & Chan, 1986; Eaton & Hale, 1993). Selain itu metabolit primer jamur digunakan untuk biosintesis asam amino, lipid, polisakarida dan asam nukleat. Senyawa-senyawa tersebut akan terlarut dalam ekstraksi dengan pelarut polar.

Kadar abu

Selama waktu inkubasi, kadar abu serbuk kayu sengon mengalami kenaikan berkisar antara 9,38-40,06% dibanding kontrol. Pada serbuk kayu meranti mengalami penurunan berkisar antara 20,82-32,24% dibanding kontrol, kecuali pada waktu inkubasi 10 hari terjadi kenaikan sebesar 8,44%. Kadar abu serbuk kayu jati mengalami kenaikan dengan kisaran 20,23-23,83% dibanding kontrol, kecuali pada waktu inkubasi 30 hari terjadi penurunan sebesar 16,80%. Kadar abu tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu sengon dengan waktu inkubasi 30 hari (5,14%), sedangkan kadar abu terendah terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu meranti dengan waktu inkubasi 20 hari (0,58%).

Hasil penelitian ini seiring dengan hasil penelitian Diertrich *et al.* (1995), yaitu setelah waktu inkubasi selama 28 hari dengan jamur *P. chrysosporium* pada media yang ditambah dengan *polychlorinated biphenyl*, terjadi peningkatan kadar mineral hingga

11%. Jamur *P. chrysosporium* mempunyai kemampuan untuk mendegradasi senyawa kimia xenobiotik termasuk *polychlorinated biphenyl* sehingga meningkatkan kadar klorin dalam media. Selain itu Fengel dan Wegener (1995) juga menyatakan bahwa kristal (mineral) yang muncul dalam kayu setelah terserang oleh jamur atau bakteri disebabkan oleh hasil metabolik mikroorganisme tersebut. Akan tetapi pada serbuk kayu meranti dengan waktu inkubasi 20 dan 30 hari serta pada serbuk kayu jati dengan waktu inkubasi 30 hari hal ini tidak terjadi karena jamur *P. chrysosporium* yang semula tumbuh dengan baik (hingga waktu inkubasi 10 hari) lama kelamaan pertumbuhannya justru menurun.

Kadar holoselulosa

Selama waktu inkubasi, kadar holoselulosa serbuk kayu sengon mengalami kenaikan berkisar antara 0,18-2,3% dibanding kontrol. Pada serbuk kayu meranti mengalami penurunan berkisar antara 5,09-5,44% dibanding kontrol, kecuali pada waktu inkubasi 20 hari justru terjadi kenaikan sebesar 3,18%. Kadar holoselulosa serbuk kayu jati mengalami kenaikan dengan kisaran 2,28-5,6% dibanding kontrol, kecuali pada waktu inkubasi 30 hari terjadi penurunan sebesar 3,92%. Kadar holoselulosa tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu jati dengan waktu inkubasi 20 hari (81,80%), sedangkan kadar holoselulosa terendah terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu jati dengan waktu inkubasi 30 hari (74,43%). Peningkatan kadar holoselulosa ini diduga terjadi karena berkurangnya kadar lignin di dalam kayu, sehingga rasio holoselulosa : lignin (H/L) dalam kayu menjadi meningkat. Pada serbuk kayu meranti dan jati yang diinkubasi selama 30 hari, penurunan kadar holoselulosa berkaitan dengan tidak terjadinya penurunan kadar lignin yang berarti dan bahkan justru terjadi penurunan kadar selulosa, hal ini menyebabkan rasio holoselulosa :

lignin (H/L) dalam kayu meranti justru mengalami penurunan.

Kadar selulosa

Selama waktu inkubasi, kadar selulosa serbuk kayu mengalami penurunan pada semua jenis serbuk kayu. Pada serbuk kayu sengon penurunan yang terjadi adalah sebesar 21,06-42,41% dibanding kontrol. Pada serbuk kayu meranti penurunan yang terjadi adalah sebesar 4,64-9,6% dibanding kontrol. Sedangkan pada serbuk kayu jati adalah sebesar 5,08-6,93% dibanding kontrol. Kadar selulosa tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu sengon dengan waktu inkubasi 0 hari (67,94%), sedangkan kadar selulosa terendah terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu sengon dengan waktu inkubasi 10 hari (39,13%).

Penurunan kadar selulosa serbuk kayu ini disebabkan karena jamur *P. chrysosporium* menggunakan selulosa sebagai sumber karbon untuk pertumbuhannya pada saat media tumbuhnya miskin akan glukosa. Hasil penelitian ini seiring dengan hasil penelitian Widjaja *et al.* (2000) yaitu kadar selulosa pada chip kayu sengon dan pinus berturut-turut menurun hingga 13,33% dan 16,06% setelah diinkubasi selama 21 hari menggunakan jamur *P. chrysosporium*.

Kadar hemiselulosa

Selama waktu inkubasi, kadar hemiselulosa serbuk kayu mengalami kenaikan. Kenaikan kadar hemiselulosa pada serbuk kayu sengon berkisar antara 205,23-370,17% dibanding kontrol. Pada serbuk kayu meranti berkisar antara 0,75-13,29% dibanding kontrol, sedangkan pada serbuk kayu jati terjadi kenaikan sebesar 0,41-22,14% dibanding kontrol. Kadar hemiselulosa tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu meranti dengan waktu inkubasi 20 hari (38,91%), sedangkan kadar

hemiselulosa terendah terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu sengon dengan waktu inkubasi 0 hari (7,82%).

Peningkatan kadar hemiselulosa ini diduga terjadi karena berkurangnya kadar selulosa di dalam kayu, sehingga rasio hemiselulosa : selulosa dalam holoselulosa menjadi meningkat. Hasil penelitian ini seiring dengan hasil penelitian Camarero *et al.* (2001) yang menyebutkan bahwa rendemen polisakarida pada jerami gandum meningkat hingga 144% jika dibandingkan yang tidak diberi perlakuan enzim peroxidase. Hasil hidrolisis enzim peroksidase terhadap karbohidrat pada materi lignoselulosa adalah 2-furaldehida, 2-3-dihidro-5-metil furanone, 1,5-anhidro-4-deoxypent-1-en-3-ulose dan 2-hidroksi-3-metil-2-siklopenten-1-one, yang tergolong sebagai hemiselulosa kayu.

Kadar lignin

Selama waktu inkubasi, kadar lignin serbuk kayu mengalami penurunan pada jenis serbuk kayu sengon dan jati, sedangkan pada kayu meranti mengalami kenaikan. Penurunan kadar lignin serbuk kayu sengon berkisar antara 2,51-12,59% dibanding kontrol, sedangkan pada kayu jati berkisar antara 1,11-2,98% dibanding kontrol, sedangkan pada kayu meranti kenaikan kadar lignin berkisar antara 3,94-25,45% dibanding kontrol. Kadar lignin tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu meranti dengan waktu inkubasi 30 hari (34,34%), sedangkan kadar lignin terendah terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu sengon dengan waktu inkubasi 10 hari (21,58%).

Penurunan kadar lignin kayu pada serbuk kayu sengon dan jati terjadi karena lignin tersebut terdegradasi oleh enzim yang disekresikan jamur *P. chrysosporium*. Jamur *P. chrysosporium* dapat memproduksi enzim lignin peroksidase, manganase peroksidase dan lakase yang berperan dalam men-

degradasi struktur lignin (Jefries, 1994; Bruce & Palfreyman, 1998; Hattori & Simada, 2001). Hasil penelitian ini seiring dengan hasil penelitian Singh dan Roymoulik (1996) yaitu *P. chrysosporium* dalam mendegradasi lignin sebesar 7-30% tergantung pada jenis ligninnya, serta hasil penelitian Widjaja *et al.* (2000), dimana setelah dilakukan inkubasi dengan jamur *P. chrysosporium* selama 30 hari pada media yang diperkaya okara terjadi penurunan kadar lignin chip kayu sengon dan pinus berturut-turut sebesar 46,98% dan 43,26%. Setelah waktu inkubasi tertentu, kadar lignin pada serbuk kayu meranti tidak mengalami penurunan, hal ini terjadi karena lignin kayu meranti sulit didegradasi oleh jamur *P. Chrysosporium* karena memiliki nilai S/G rasio yang kecil yaitu 1,87 (Syafii, 2001).

Kadar Etanol

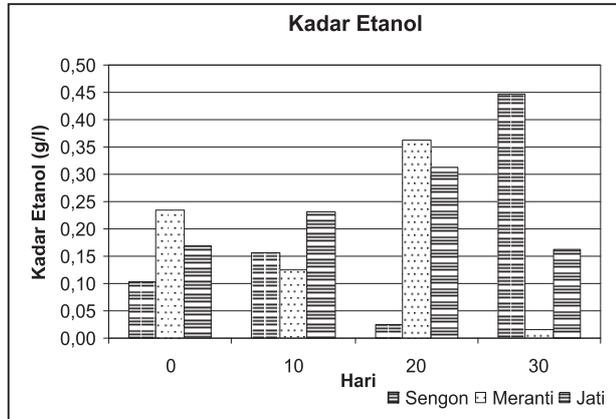
Kadar etanol diukur dengan menggunakan kromatografi gas. Nilai rata-rata kadar etanol disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai rata-rata kadar etanol (g/l)

Jenis Kayu	Waktu Inkubasi			
	0	10	20	30
Sengon	0,104	0,158	0,024	0,448
Meranti	0,235	0,124	0,364	0,016
Jati	0,170	0,232	0,311	0,163

Perlakuan penyerangan jamur *P. chrysosporium* pada beberapa waktu inokulasi telah menyebabkan perubahan komponen kimia serbuk kayu. Pengaruh perlakuan penyerangan jamur *P. chrysosporium* ini terhadap setiap jenis kayu yang berbeda adalah memberikan hasil yang berbeda pula. Kombinasi faktor perlakuan tersebut memberikan hasil fermentasi etanol yaitu pada kisaran 0,017-0,448 g/l. Kadar etanol tertinggi dihasilkan dari kombinasi perlakuan serbuk kayu sengon dengan waktu inkubasi 30 hari (0,448 g/l), sedangkan kadar etanol terendah terdapat pada kombinasi perlakuan serbuk kayu meranti

dengan waktu inkubasi 30 hari (0,017 g/l). Histogram perubahan kadar etanol dari serbuk kayu yang terjadi selengkapnya disajikan pada Gambar 2.



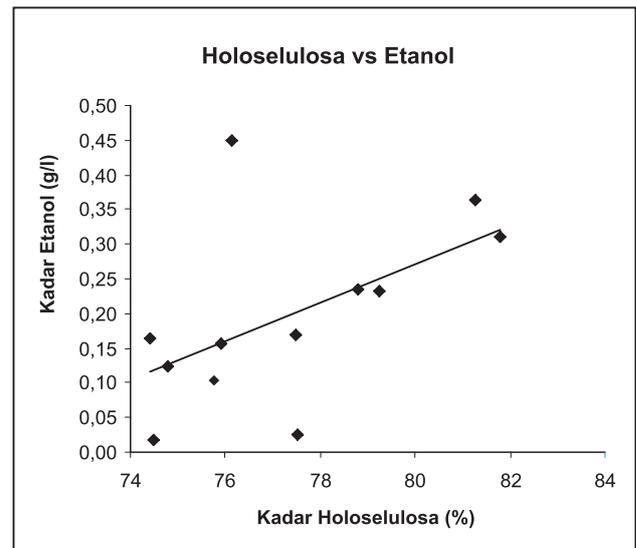
Gambar 2. Histogram kadar etanol

Kadar etanol yang dihasilkan masih rendah jika dibanding penelitian Samsuri *et al.* (2005) yang menghasilkan kadar etanol sebesar 15,2-15,4 g/l. Akan tetapi apabila dibandingkan dengan hasil penelitian Srivinas *et al.* (1995) kadar etanol yang dihasilkan tidak jauh berbeda yaitu 0,17 g/l. Rendahnya kadar etanol yang dihasilkan diduga dikarenakan masih tingginya kandungan lignin di dalam kayu. Selain itu aktivitas enzim selulase kasar dari kapang *T. viride* yang digunakan juga terlalu kecil, sehingga tidak mampu menghidrolisis selulosa secara optimal.

Hasil analisis regresi antara kadar etanol masing-masing komponen kimia kayu, menunjukkan bahwa komponen kimia yang berpengaruh nyata terhadap kadar etanol hanyalah kadar holoselulosa. Kadar holoselulosa berkorelasi positif terhadap kadar etanol yang dihasilkan. Hubungan antara kadar holoselulosa dan kadar etanol disajikan pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 tampak bahwa hubungan antara kadar holoselulosa dan kadar etanol adalah linier positif. Peningkatan kadar holoselulosa yang diikuti peningkatan kadar etanol kayu adalah diduga karena selain menghasilkan enzim selulase, kapang *T. viride* juga menghasilkan enzim xilanase. Pada penelitian

ini karena adanya keterbatasan anggaran dan waktu tidak dilakukan berbagai aktivitas enzim (seperti xilanase) terhadap enzim kasar yang dihasilkan. Selain memproduksi enzim selulase, *T. viride* juga menghasilkan enzim endo-1,4- xilanase yang dapat mendegradasi xilan. Berat molekul enzim xilanase yang dihasilkan oleh *T. viride* adalah sebesar 22.000 dalton (Ujiie *et al.*, 1991).



Gambar 3. Grafik hubungan kadar holoselulosa dan kadar etanol

Kadar etanol yang tinggi yang dihasilkan karena kemampuan enzim kasar dari *T. viride* yang dapat menghidrolisis rantai xilan, diduga juga didukung oleh kemampuan yeast *S. cereviceae* dalam memfermentasi xilosa yang dihasilkan. Hasil penelitian Jin *et al.* (2003) menyebutkan bahwa *Saccharomyces cereviceae* yang ditumbuhkan pada media yang mengandung xilosa dapat menghasilkan etanol dengan kadar maksimum 3,4 g/l. Produksi etanol oleh yeast *S. cereviceae* dari xilosa memang tidak dapat optimal, karena sebenarnya konsumsi utama xilosa oleh *S. cereviceae* adalah untuk diubah menjadi xilitol untuk metabolisme internalnya.

KESIMPULAN

Berdasar hasil penelitian dan pembahasan seperti tersebut di muka maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perlakuan pendahuluan dengan jamur *P. chrysosporium* pada berbagai jenis serbuk kayu dan waktu inkubasi dapat meningkatkan kadar etanol yang dihasilkan. Interaksi antara jenis kayu dan waktu inkubasi memberikan pengaruh sangat nyata terhadap kadar etanol serbuk kayu.
2. Kadar etanol yang dihasilkan berkisar antara 0,017-0,448 g/l. Kombinasi perlakuan yang paling baik adalah pada serbuk kayu sengon dengan waktu inkubasi 30 hari, yaitu 0,448 g/l. Pada serbuk kayu jati dan meranti kombinasi terbaik terjadi pada waktu inkubasi 20 hari, yaitu berturut-turut 0,311 dan 0,364 g/l.
3. Sifat kimia serbuk kayu sengon, meranti dan jati yang telah diteliti, yang berpengaruh nyata terhadap kadar etanol yang dihasilkan adalah kadar holoselulosa. Pada umumnya semakin tinggi kadar holoselulosa, maka semakin tinggi kadar etanol yang dihasilkan.

SARAN

Berdasar pengalaman penelitian yang telah dilakukan, beberap hal yang dapat disarankan untuk pelaksanaan penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlu dilakukan penambahan nutrien pada serbuk kayu yang akan diinkubasi dengan jamur *P. chrysosporium* sehingga jamur tersebut dapat tumbuh dengan lebih baik dan dapat mendegradasi lignin dengan lebih optimal.
2. Sebaiknya dilakukan pemurnian terlebih dahulu dari enzim selulase kasar yang digunakan sehingga dapat meningkatkan aktivitas enzim tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus. 1984. *Annual Book of ASTM Standards*. D-1102 s.d 1110 Standard Method of Wood Chemistry. Philladelphia. USA.
- , 1992. *TAPPI Test Methode*. T17 wd-70. Atlanta.
- Bruce A & Palfreyman JW. 1998. *Forest Products Biotechnology*. Taylor and Francis Ltd. London.
- Camarero S, Bocchini P, Galletti GC, Martinez MJ & Martinez AT. 2001. Compositional changes of wheat lignin by a fungal peroxidase analyzed by Pyrolysis-GC-MS. *Analytical and Applied Pyrolysis* 58-59:413-423.
- Darmaji P, Suhardi, Suprpto, Herminiwati, & Zulhairi RR. 1998. Optimasi pembuatan arang aktif dari limbah kayu keruing sebagai filler barang karet. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pangan dan Gizi*. Yogyakarta, 15 Desember 1998.
- Departemen Kehutanan. 2004. *Statistik Kehutanan Indonesia 2003*. Jakarta.
- Diertrich D, Hickey WJ & Lamar R. 1995. Degradation of 4,4-Dichlorobiphenyl, 3,3-4,4-Tetrachlorobiphenyl, and 2,2-4,4-5,5-Hexachlorobiphenyl by white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied and Environmental Microbiology* 61(11): 3904-3909.
- Eaton RA & Hale MDC. 1993. *Wood: Decay, Pests and Protection*. Chapman and Hall. London.
- Fengel D & Wegener G. 1995. *Kayu: Kimia, Ultrastruktur dan Reaksi-reaksi*. Sastrohamidjojo H, penerjemah. Terjemahan dari: *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reaction*. Gadjah Mada University Press. Jogjakarta.
- Hattori T & Simada M. 2001. *Microbial, Enzymatic and Biomimetic Degradation of Lignin in Relation to Bioremediation*. In Hon DNS, Shiraishi N (editor). *Wood and Cellulose Chemistry*. Ed ke-2. Rev and Expanded. Marcel Dekker. New York.
- Irawadi TT. 1991. *Analisis Produk Hidrolisis Enzim Pada Limbah Berserat dari Industri Pertanian dengan Metoda HPLC* (laporan penelitian pengabdian kepada masyarakat. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan). Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Itoh H, Wada M, Honda Y, Kuwahara M & Watanabe T. 2003. Bioorganosolve pretreatments for simultaneous saccharification and fermentation of beech wood by ethanolysis and white rot fungi. *Journal of Biotechnology* 103:273-280.
- Jeffries TW. 1987. *Production and Applications Of Cellulase Laboratory Procedures*. Wwww.calvin.biotech.wisc.edu (24-08-2005)
- Jeffries TW. 1994. *Biochemistry of Microbial Degradation*. Ratledge C editor. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Jin YS, Ni H, Laplaza JM & Jeffries TW. 2003. Optimal Growth and Ethanol Production from Xylose by Recombinant *Saccharomyces cereviceae* Require Moderate D-Xylulokinase Activity. *Applied and Environmental Microbiology* 69(1): 495-503.
- Pelczar MJ, & Chan ECS. 1986. Dasar-dasar Mikrobiologi. Hadioetomo RS, Imas T, Tjitrosomo SS, Angka SL, penerjemah. Terjemahan dari: *Elements of Microbiology*. UI-Press. Jakarta.
- Samsuri M, Prasetya B, Hermiati E, Idiyanti T, Okano K, Syafwina, Honda Y & Watanabe T. 2005. Pretreatments for Ethanol Production from Bagasse by Simultaneous saccharification and Fermentation. *Prosiding 6th International Wood Science Symposium*. Denpasar, 29-31 Agustus 2005.
- Singh SP & Roymoulik SK. 1996. *Role of biotechnology in the pulp and paper industry*. Revise part 3: effluent treatment. IPPTA 8(2):57-60.
- Sjamsuriputra AA, Sastramihardja I & Sastramihardja US. 1986. Pemanfaatan Limbah Padat Industri Tapioka Untuk Produksi Etanol Dengan Cara Sakarifikasi-Fermentasi Simultan Tanpa Perlakuan Pemasakan (Laporan Penelitian Pengabdian Pada Masyarakat Departemen Pendidikan dan Kebudayaan). Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Srivinas D, Rao KJ, Theodore K & Panda T. 1995. Direct conversion of cellulosic material to ethanol by the intergeneric fusant *Trichoderma reesei* QM 9414/*Saccharomyces cereviceae* NCIM 3288. *Enzyme and Microbial Technology* 17:418-423.
- Syafii W. 2001. The effect of lignin composition on delignification rate of some tropical hardwoods. *Indonesian Journal of Tropical Agriculture* 10(1):9-13.
- Ujiie M, Roy C & Yaguchi M. 1991. Low-molecular-weight xylanase from *Trichoderma viride*. *Applied and Environmental Microbiology* 57(6):1860-1862.
- Waluyo L. 2004. *Mikrobiologi Umum*. UMM Press. Malang.
- Widjaja A, Adriyani S, & Pratami AA. 2000. Study of Bidelignification on Sengon and Pine Using White-Rot Fungus *Phanerochaete chrysosporium* for the Development of Pulp and Paper Industries in Indonesia. www.digilib.its.ac.id (12-11-2003).