

Jurnal Ilmu Kehutanan

Journal of Forest Science
<https://jurnal.ugm.ac.id/jikfkt>



Hidrolisis Media Sisa Budidaya Jamur Kuping Menggunakan Tiga Jenis Enzim Selulase

The Hydrolysis of Ear-Mushroom Cultivation Media Residue by Using Three Kinds of Cellulase Enzymes

Denny Irawati*

Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Jl. Agro No.1, Bulaksumur, Sleman 55281

*E-mail : dirawati@ugm.ac.id

HASIL PENELITIAN

Riwayat naskah:

Naskah masuk (received): 3 Agustus 2016

Diterima (accepted): 12 Nopember 2016

KEYWORDS

ear mushroom
media residue
cellulase
hydrolysis
reducing sugar

KATA KUNCI

jamur kuping
sisa media
enzim selulase
hidrolisis
gula pereduksi

ABSTRACT

Ear mushrooms (Auricularia polytricha) belongs to class Basidiomycetes is widely cultivated in Indonesia. After 6-8 months of cultivation, the media should be renewed. Therefore, the rest of the media is under utilized and just thrown away as a waste. This is dangerous because the residual mycelia that contained in the rest of the media may further degrade the media. This pollutes the environmental pollution due to discharge of methane into the air. Therefore, the utilization of residual ear mushroom media needs to be processed. In fact, this residue can produce a reducing-sugar using various commercial cellulase enzymes. This study used the residual media of the cultivation of mushroom derived from three types of wood, i.e. sengon (Falcataria moluccana), teak (Tectona grandis), and meranti (Shorea sp.), and then they were hydrolyzed using three types of cellulase enzymes, i.e. Driselase, Cellulase "Onozuka" R-10, and Meicelase. The hydrolysis rate was measured and the reducing-sugar yield was analyzed. The design used was completely randomized design with 3 x 3 factors and 3 replications for each treatment. The results showed that the residue of the mushroom cultivation media has the potential of reducing sugar as a raw material which can then be fermented into bio-ethanol or other chemicals. Hydrolysis rate ranged from 1.43 to 21.29%. The highest combination of residual cultivation medium was made from meranti sawdust by using Meicelase enzyme. The highest reducing sugar content yield were also resulted from the combination of the same treatment, which amounted to 127.7 mg/g or 12.8% with output range between 56.0 and 127.7 mg/g (or yield 5.6-12.8%).

INTISARI

Jamur kuping (*Auricularia polytricha*) termasuk dalam kelas Basidiomycetes yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Setelah 6-8 bulan masa pembudidayaan media budidaya jamur kuping harus diperbaharui. Se jauh ini media sisa budidaya jamur kuping belum dimanfaatkan dengan baik, bahkan limbah tersebut hanya dibuang begitu saja sebagai limbah. Hal ini sangat berbahaya karena sisa miselia yang

terdapat di dalam media sisa dapat mendegradasi lebih lanjut media dan mengakibatkan pencemaran lingkungan yaitu terlepasnya gas metana ke udara. Oleh karena itu pemanfaatan sisa media budidaya kuping perlu dilakukan antara lain untuk memproduksi gula pereduksi dengan menggunakan berbagai jenis enzim selulase. Penelitian ini menggunakan media sisa budidaya jamur kuping yang berasal dari 3 jenis kayu, yaitu sengon (*Falcataria moluccana*), jati (*Tectona grandis*), dan meranti (*Shorea sp.*), yang dihidrolisis menggunakan 3 jenis enzim selulase yaitu Driselase, Cellulase "Onozuka" R-10, dan Meicelase. Setelah hidrolisis, kemudian diukur laju hidrolisisnya dan dianalisis kadar gula pereduksinya. Rancangan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap dengan aras 3 x 3 serta ulangan sebanyak 3 untuk setiap perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media sisa budidaya jamur kuping memiliki potensi sebagai bahan baku gula pereduksi yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi bio-etanol atau bahan kimia lainnya. Laju hidrolisis berkisar antara 1,43-21,29%, dengan kombinasi tertinggi yaitu media sisa budidaya yang terbuat dari serbuk kayu meranti dengan menggunakan enzim Meicelase. Kadar dan rendemen gula pereduksi tertinggi juga dihasilkan dari kombinasi perlakuan yang sama, yaitu berturut-turut sebesar 127,7 mg/g dan 12,8% dengan kisaran hasil antara 56,01-127,7 mg/g atau rendemen 5,6-12,8%.

© Jurnal Ilmu Kehutanan Allright reserved

Pendahuluan

Jamur kuping (*Auricularia polytricha*) merupakan salah satu jamur konsumsi yang telah lama dikenal oleh manusia. Jenis ini merupakan spesies jamur pertama yang dibudidayakan oleh manusia di China. Semenjak abad ke XIV, saat dinasti Ming berkuasa di China, jamur telah menjadi menu spesial bagi pejabat negara tersebut (Kurniati 2013). Cita rasa jamur yang lezat kemudian menyebar ke seluruh penjuru dunia antara lain juga ke Indonesia. Jamur kuping termasuk dalam kelas Basidiomycetes yang merupakan salah satu jenis jamur kayu dan saat ini banyak dibudidayakan di Indonesia selain jamur tiram dan shiitake.

Budidaya jamur kuping merupakan salah satu alternatif bisnis yang memiliki prospek dan peluang cukup bagus untuk dikembangkan. Selain dapat dikerjakan sebagai usaha kecil maupun usaha besar, kegiatan budidaya jamur juga dapat dilakukan sebagai usaha sampingan yang tidak memerlukan teknologi yang rumit dan modal yang besar. Oleh karena itu,

banyak para petani membudidayakan jamur kuping di Indonesia. Lama waktu pembudidayaan jamur kuping bisa mencapai 6-8 bulan dengan periode panen setiap 7-10 hari. Setelah periode pembudidayaan tersebut media bekas budidaya jamur kuping harus diperbaharui (Parjimo & Andoko 2008).

Berdasarkan data dari Kementerian Pertanian di tahun 2012 produksi jamur (dari berbagai jenis) adalah sebesar 17.541 ton. Apabila dari 150 g media dihasilkan jamur kuping sebanyak 32-65 g badan buah (Irawati et al. 2012a) atau rendemen sebesar 21-43%, maka diperkirakan banyaknya media sisa yang dihasilkan setelah pemeliharaan jamur adalah sebesar 40.790-83.528 ton, walaupun memang tidak semua sisa media tersebut berasal dari sisa media pemeliharaan jamur kuping. Sejauh ini media sisa budidaya jamur kuping belum dimanfaatkan dengan baik, bahkan seringkali hanya dibuang begitu saja ke sungai. Hal ini sangat berbahaya karena sisa miselia yang terdapat di dalam media sisa dapat mendegradasi lebih lanjut media dan mengakibatkan

pencemaran lingkungan yaitu terlepasnya gas metana ke udara.

Beberapa penelitian telah mencoba memanfaatkan berbagai sisa media budidaya jamur, antara lain sisa media budidaya jamur *P. ostreatus* dan *Agaricus biosporus* dimanfaatkan untuk media perkecambahan dan pertumbuhan tanaman hortikultura (López-Castro et al. 2008; Medina et al. 2009), kemudian media sisa budidaya jamur *P. ostreatus* dan *P. nameko* digunakan untuk campuran media budidaya jamur lainnya yaitu *Lyophyllum decastes* (Akamatsu 1998). Akan tetapi berkaitan dengan krisis energi fosil yang terjadi di Indonesia sejak tahun 2004, pemanfaatan biomasa untuk bahan baku bioalkohol menjadi salah satu alternatif pemanfaatan yang perlu dipertimbangkan. Beberapa penelitian terdahulu yang memanfaatkan sisa budidaya berbagai jamur untuk pembuatan bioetanol antara lain adalah media sisa budidaya jamur *Grifola frondosa* (Hideno et al. 2007), media sisa budidaya *Pholiota nameko* dan *Lentinula edodes* (Yokota et al. 2007; Lee et al. 2008; Hiyama et al. 2011), dan juga media sisa budidaya *Pleurotus ostreatus* (Balan et al. 2008).

Sebagai bahan baku *bio-fuel* maupun bahan kimia lain, komponen kimia dari materi lignoselulosik sangat berpengaruh terhadap efisiensi proses konversinya. Kandungan lignin dalam materi lignoselulosa diketahui menghambat proses hidrolisis selulosa menjadi materi gula pereduksi (Irawati et al. 2009). Berdasar hasil penelitian sebelumnya, diketahui bahwa media sisa budidaya beberapa jenis jamur memiliki kandungan lignin yang lebih rendah dibanding media aslinya (Hideno et al. 2007; Balan et al. 2008).

Berdasarkan hal tersebut penelitian ini mencoba memanfaatkan media sisa budidaya jamur kuping untuk memproduksi gula pereduksi dengan menggunakan enzim sebagai materi penghidrolisisnya. Media sisa ini diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya yang membandingkan 3 jenis spesies kayu yaitu sengon (*Falcataria moluccana*), jati (*Tectona grandis*),

dan meranti (*Shorea sp.*) untuk pertumbuhan jamur kuping. Ketiga jenis kayu tersebut digunakan karena produksinya paling besar di Indonesia. Hidrolisis menggunakan enzim, walaupun laju hidrolisisnya rendah, tetapi lebih disukai karena lebih ramah lingkungan. Selain itu hidrolisis enzimatis dapat dilakukan pada suhu ruang dan tekanan rendah, yang artinya tidak memerlukan penggunaan energi, juga produk yang dihasilkan lebih spesifik. Terdapat berbagai jenis enzim selulase komersial di pasaran yang dapat digunakan untuk menghidrolisis materi lignoselulosa. Perbedaan ini biasanya berasal dari perbedaan jenis kapang penghasil enzim tersebut. Kesesuaian jenis enzim dengan substrat yang dihidrolisis akan mempengaruhi rendemen gula pereduksi yang dihasilkan. Oleh karena itu, 3 jenis enzim selulase komersial digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui jenis selulase yang paling sesuai dengan substrat media limbah budidaya jamur kuping.

Bahan dan Metode

Bahan

Media sisa budidaya jamur kuping yang berasal dari 3 jenis kayu, yaitu sengon (*Falcataria moluccana*), jati (*Tectona grandis*), dan meranti (*Shorea sp.*). Media sisa budidaya jamur kuping ini diperoleh setelah dilakukan budidaya jamur kuping dan telah dipanen badan buahnya selama 130 hari (50 hari masa inkubasi dan 80 hari masa pembudidayaan) pada kondisi ruang yang terkendali dengan suhu 25°C dan kelembaban 80-90%. Selama masa pembudidayaan, badan buah jamur kuping dipanen secara periodik. Sebagai kontrol digunakan media yang belum digunakan untuk budidaya jamur yang terbuat dari 83% serbuk kayu (b/b), 11% dedak (b/b), dan 6% CaCO₃ (b/b). Selain itu digunakan 3 jenis enzim selulase komersial yaitu Driselase (Sigma, Aldrich), Cellulase “Onozuka” R-10 (Yakult Pharmaceutical), dan Meicelase (Meiji Seika) dengan aktivitas masing-masing enzim dan pH optimal secara

berturut-turut adalah 800U/g (pH 5), 2 U/mg (pH 4-5), dan 19,2 FPU (pH 4,5 - 5,5).

Metode

Persiapan bahan

Sebelum analisis kandungan kimia, sampel yang berupa media dan media sisa budidaya jamur kuping dihaluskan terlebih dahulu menggunakan *rotary speed mill* (P-14, Fritsch) dan kemudian diayak. Sampel yang digunakan adalah sampel yang lolos ukuran 40 mesh dan tertahan ukuran 80 mesh. Setelah itu sampel dikeringkan pada oven bersuhu 45°C.

Analisis kandungan kimia

Kadar ekstraktif larut etanol-toluena, holoselulosa, -selulosa, lignin Klason, dan lignin terlarut asam dari sampel diukur menggunakan metode sesuai dengan yang telah dilakukan sebelumnya (Irawati et al. 2012b). Analisis kandungan kimia dilakukan dengan menggunakan 3 ulangan untuk tiap-tiap sampel. Perubahan komponen kimia antara media dan media sisa dihitung dengan membandingkan selisih antara kadar kimia media dan media sisa dengan kadar kimia media.

Hidrolisis enzimatis

Tiga jenis enzim selulase komersial, yaitu Driselase, Cellulase "Onozuka" R-10, dan Meicelase digunakan untuk menghidrolisis masing-masing sampel. Sebelum digunakan sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 45°C. Sampel tersebut kemudian diambil sebanyak 200 mg dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi berbentuk L. Selanjutnya 50 mg enzim yang dilarutkan dalam 10 ml, 0,1 M buffer asetat (pH 5,0) ditambahkan ke dalamnya. Sampel kemudian digojog pada *water-bath shaker* (NTS-120, EYELA) dengan kecepatan 70 strokes/menit pada suhu 40°C. Setelah 48 jam, larutan sampel kemudian disentrifugasi pada kecepatan 4.000 rpm selama 15 menit. Bagian cair (supernatan) dipisahkan dari endapan yang terbentuk dengan menggunakan pipet

secara perlahan. Supernatannya kemudian dikeringkan dan sisanya dikeringkan pada suhu 103 ± 2 °C. Laju hidrolisis selanjutnya diukur dengan menggunakan rumus :

$$\text{Laju hidrolisis (\%)} = \frac{W_o - W_1}{W_o} \times 100$$

dimana W_o (g) adalah berat kering sampel sebelum hidrolisis dan W_1 (g) adalah berat kering sampel setelah hidrolisis. Pengukuran laju hidrolisis ini menggunakan sampel masing-masing sebanyak 3 ulangan. Perubahan laju hidrolisis antara media dan media sisa dihitung dengan membandingkan selisih antara laju hidrolisis media dan media sisa dengan laju hidrolisis media.

Pengukuran kadar gula pereduksi

Kadar gula pereduksi (mg/g) diukur dengan menggunakan metode *dinitrosalicylic acid* (DNS) (Miller 1959; Wood et al. 2012). Sampel supernatan yang telah kering kemudian dilarutkan dengan 10 ml aquades, dan dari larutan tersebut diambil 1,5 ml yang kemudian dimasukkan dalam tabung reaksi, lalu ditambahkan 3 ml reagen DNS. Tabung reaksi tersebut kemudian dimasukkan pada air mendidih selama 15 menit. Sampel, blanko, dan larutan standar glukosa dipanaskan secara bersamaan. Setelah pemanasan tersebut, kemudian tabung reaksi didinginkan pada air mengalir. Absorbansi larutan diukur menggunakan spektrofotometer (V-650, Jasco, Japan) pada panjang gelombang 540 nm. Kurva kalibrasi dibuat berdasarkan panjang gelombang larutan standar glukosa dengan konsentrasi 1, 2, 4, dan 8 mg/ml. Analisis kadar gula pereduksi dilakukan dengan menggunakan 3 ulangan untuk tiap-tiap sampel. Rendemen kadar gula pereduksi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{G}{W} \times 100\%$$

dimana G (mg) adalah kadar gula pereduksi yang dihasilkan dan W (mg) adalah berat sampel yang di hidrolisis. Perubahan kadar gula pereduksi antara

media dan media sisa dihitung dengan membandingkan selisih antara kadar gula pereduksi media dan media sisa dengan kadar gula pereduksi media.

Analisis data

Analisis data yang digunakan adalah analisis varian 1 faktor untuk melihat ada atau tidaknya perbedaan antar jenis media pada parameter kadar kimia dan analisis varian 2 faktor untuk melihat ada atau tidaknya interaksi antara jenis media dan jenis enzim selulase pada parameter laju hidrolisis dan kadar gula pereduksi. Uji lanjut untuk menganalisis hasil yang berbeda nyata, digunakan analisis *honestly significant difference* (HSD) Tukey (Gomez & Gomez 1995).

Hasil dan Pembahasan

Kandungan kimia

Analisis kimia yang dilakukan antara lain adalah untuk menguji kadar ekstraktif etanol-toluena, holoselulosa, α -selulosa, lignin Klason, dan lignin terlarut asam. Secara statistik, nilai kadar kimia semua parameter tertinggi terdapat pada media sisa yang terbuat dari kayu jati, sedangkan nilai terendah untuk parameter kadar ekstraktif dan lignin terlarut asam terdapat pada media sisa yang terbuat dari kayu meranti, dan nilai terendah untuk parameter kadar holoselulosa, α -selulosa, dan lignin Klason terdapat pada media sisa yang terbuat dari kayu sengon (Tabel 1). Tingginya kadar kimia pada media yang terbuat dari kayu jati disebabkan oleh sedikitnya degradasi

yang terjadi pada media tersebut setelah ditumbuhi jamur kuping. Hal ini dibuktikan dengan rendahnya nilai penurunan kadar kimia media tersebut (terhadap media baru sebagai kontrol) jika dibandingkan dengan 2 jenis media yang lain (Tabel 2). Hasil penelitian sebelumnya pada sisa media budidaya jamur *Pleurotus ostreatus* dengan menggunakan batang padi memiliki kadar lignin Klason sebesar 10,12% (Balan et al. 2008), nilai ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan media sisa yang terbuat dari kayu sengon, namun lebih rendah jika dibandingkan dengan media sisa yang terbuat dari kayu meranti dan jati.

Jika dibandingkan dengan kontrol (media baru), media sisa budidaya jamur kuping mengalami penurunan semua komponen kimia kecuali kadar lignin terlarut asamnya (Tabel 2). Penurunan yang paling besar adalah penurunan kadar ligninnya yaitu mencapai hingga 71,6% pada media sisa yang terbuat dari kayu sengon. Kadar holoselulosa dan α -selulosa juga mengalami penurunan berturut-turut sebesar 32,6-40,0% dan 42,0-51,6%. Hal ini menunjukkan bahwa selama pembudidayaan jamur kuping terjadi degradasi komponen media dan karena besarnya degradasi lignin yang terjadi mengindikasikan bahwa jamur kuping termasuk dalam jamur pembusuk putih. Kadar lignin terlarut asam mengalami peningkatan diduga disebabkan hasil degradasi berbagai komponen kimia selama pertumbuhan miselia menghasilkan komponen-komponen yang berberat molekul rendah yang terlarut dalam analisis lignin terlarut asam.

Tabel 1. Kandungan kimia media sisa budidaya jamur kuping
Table 1. Chemical content of ear-mushroom cultivation media residue

Komponen kimia	Jenis media			ANOVA
	Sengon	Meranti	Jati	
Ekstraktif (%)	2,6±0,0b	2,1±0,1a	4,7±0,5c	**
Holoselulosa (%)	41,0±4,2a	48,3±0,7b	62,0±1,3c	**
α -Selulosa (%)	16,9±0,8a	23,1±1,4b	30,7±0,4c	**
Lignin Klason (%)	5,5±0,1a	13,5±1,6b	21,9±1,9c	**
Lignin terlarut asam (%)	2,5±0,0ab	2,4±0,2a	2,7±0,3b	**

Keterangan: nilai yang diikuti huruf yang sama pada satu baris menunjukkan tidak ada perbedaan berdasar analisis Tukey (HSD) pada $\alpha = 5\%$.

Note: the values followed by the same alphabeth in the same row shows no significance based on Tukey (HSD) analysis on $\alpha = 5\%$

Tabel 2. Kandungan kimia media baru (kontrol) dan perubahan kadar kimia setelah budidaya jamur kuping
Table 2. Chemical content of new media (control) and changes of chemical content after ear-mushroom cultivation

Komponen kimia	Jenis media			Perubahan (%)		
	Sengon	Meranti	Jati	Sengon	Meranti	Jati
Ekstraktif (%)	5,2±0,2	3,1±0,1	7,2±0,4	(-)43,3	(-)29,7	(-)37,7
Holoseulosa (%)	73,4±2,5	78,7±0,3	73,3±1,0	(-)36,2	(-)32,6	(-)40,0
α-Selulosa (%)	40,0±0,2	54,8±0,8	45,0±0,9	(-)44,0	(-)42,0	(-)51,6
Lignin Klason (%)	19,4±0,5	27,9±0,3	27,5±1,1	(-)71,7	(-)51,6	(-)20,4
Lignin terlarut asam (%)	2,8±0,1	1,5±0,1	1,3±0,0	(+)9,9	(+)73,0	(+)95,6

Keterangan: perubahan (-) adalah mengalami penurunan, perubahan (+) adalah mengalami peningkatan
 Note: changes (-) shows decreased value, changes (+) shows increased value

Kandungan lignin yang rendah dalam biomasa membuat biomasa tersebut mudah dihidrolisis menggunakan enzim karena kandungan lignin dapat menghambat aksesibilitas enzim selulase terhadap selulosa (Sung & Cheng 2002). Kandungan holoseulosa yang rendah dapat menurunkan rendemen gula pereduksi yang dihasilkan karena gula pereduksi berasal dari degradasi hemiselulosa dan selulosa menjadi komponen monomer sakaridanya.

Laju hidrolisis

Laju hidrolisis merupakan prosentase banyaknya sampel yang terhidrolisis oleh enzim. Besarnya laju hidrolisis media sisa budidaya jamur kuping dengan menggunakan 3 jenis enzim selulase komersial berkisar antara 2,7-21,3%, dengan kombinasi perlakuan yang menghasilkan laju hidrolisis terbesar adalah media sisa yang terbuat dari kayu meranti dengan enzim Meicelase, sedangkan yang terendah adalah

kombinasi media sisa yang terbuat dari kayu jati dengan enzim Driselase (Tabel 3). Jika dibandingkan dengan hasil penelitian Ueda et al. (2015), yang menghasilkan laju hidrolisis hingga 60%, laju hidrolisis pada penelitian ini jauh lebih rendah. Hal ini disebabkan adanya proses praperlakuan ozonisasi yang dilakukan pada penelitian tersebut.

Secara statistik tidak terdapat perbedaan yang nyata pada interaksi jenis enzim dengan jenis media terhadap laju hidrolisis, akan tetapi untuk masing-masing faktor tunggalnya terdapat perbedaan yang nyata. Uji lanjut faktor jenis enzim menunjukkan bahwa enzim Meicelase memberikan laju hidrolisis tertinggi (18,0%), sedangkan enzim Driselase memberikan laju hidrolisis terendah (3,3%) terhadap media sisa budidaya jamur (Gambar 1a). Tingginya laju hidrolisis enzim Meicelase diduga disebabkan oleh rentang pH aktivitasnya yang lebih besar dibanding Driselase. Rentang pH aktivitas optimal enzim

Tabel 3. Laju hidrolisis (%) media sisa budidaya jamur kuping, media baru (kontrol), dan perubahan (%) laju hidrolisis setelah budidaya jamur kuping
Table 3. Hydrolysis rate (%) of ear-mushroom cultivation spent media, new media (control), and changes (%) of hydrolysis rate after ear-mushroom cultivation

Jenis Enzim	Jenis Media	Media Sisa	Media Baru (kontrol)	Perubahan
Meicelase	Sengon	18,1±2,5	10,1±0,5	(+) 78,3
	Meranti	21,3±2,4	8,6±1,8	(+) 148,2
	Jati	14,7±3,6	13,6±1,0	(+) 7,4
Driselase	Sengon	3,3±0,4	2,6±0,1	(+) 28,1
	Meranti	3,9±0,3	3,1±0,1	(+) 25,9
	Jati	2,7±0,0	8,9±0,3	(-) 69,7
Cellulase	Sengon	11,1±4,0	8,3±0,8	(+) 32,9
	Meranti	15,6±1,1	8,5±0,6	(+) 84,1
	Jati	10,9±2,4	13,5±1,0	(-) 18,9

Keterangan: perubahan (-) adalah mengalami penurunan, perubahan (+) adalah mengalami peningkatan
 Note: changes (-) shows decreased value, changes (+) shows increased value

Meiselase adalah 4,5-5,5 sedangkan Driselase hanya pada kisaran 5,0 sehingga ketika pH tidak stabil maka aktivitas enzim Driselase menjadi berkurang. Selain itu Driselase merupakan kompleks enzim yang terdiri dari polisakarida *exo* dan *endo* hidrolase, sehingga Driselase hanya memotong polisakarida menjadi sakarida yang lebih pendek (Anonimus 2016a). Di lain pihak, Meiselase selain aktif pada substrat polisakarida juga aktif terhadap selobiosa sehingga hasil degradasinya dapat menghasilkan bentuk monosakarida yang mudah larut dan mengurangi berat substrat yang tersisa (Okada 1976).

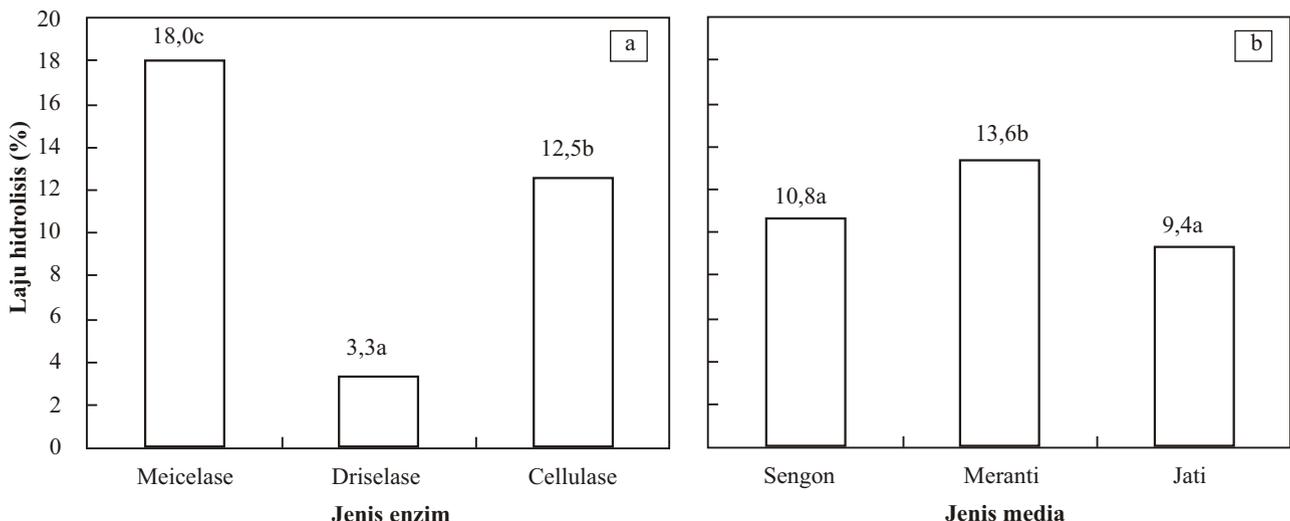
Media sisa yang terbuat dari kayu meranti memiliki laju hidrolisis yang paling besar (13,6%) dan secara statistik berbeda nyata dengan laju hidrolisis media sisa yang terbuat dari kayu sengon (10,8%) dan kayu jati (9,4%) (Gambar 1b). Tingginya laju hidrolisis media sisa yang terbuat dari kayu meranti diduga disebabkan karena jamur kuping dapat mendegradasi komponen kimia media yang terbuat dari kayu meranti dengan baik, sehingga selulosa yang tersisa berada dalam bentuk yang sesuai dengan enzim Meiselase maupun Cellulase. Enzim pada umumnya sangat selektif mengkatalisis reaksi tertentu yang

disebabkan oleh bentuk dari molekul enzim (Leatham & Himmel 1991).

Selain itu penghilangan lignin setelah proses budidaya jamur kuping juga dapat meningkatkan laju hidrolisis enzim. Media yang terbuat dari kayu meranti mengalami kehilangan lignin hingga 51,6% (Tabel 2). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa laju hidrolisis materi lignoselulosa akan meningkat seiring dengan penghilangan lignin (Sung & Cheng 2002; Yokota et al. 2007; Lee et al. 2008). Jika dibandingkan kontrol, laju hidrolisis media sisa yang terbuat dari kayu meranti mengalami peningkatan hingga 148,2% (Tabel 3).

Kadar gula pereduksi

Gula pereduksi adalah berbagai gula yang mampu mereduksi senyawa lain karena adanya gugus aldehida dan keton yang bebas. Hampir semua gula, kecuali metil glukosida dan sukrosa, merupakan gula pereduksi (Wilbraham & Matta 1992). Besarnya kadar gula pereduksi media sisa budidaya jamur kuping dengan menggunakan 3 jenis enzim selulase komersial berkisar antara 56,0-127,7 mg/g atau rendemen sebesar 5,6-12,8%, dengan kombinasi



Gambar 1. Histogram laju hidrolisis media sisa budidaya jamur kuping - a. Pada berbagai jenis enzim (huruf yang berbeda yang mengikuti angka pada setiap grafik batang menandakan beda nyata pada tingkat kepercayaan 5% dengan nilai HSD = 5,78) - b. Pada berbagai jenis media (huruf yang berbeda yang mengikuti angka pada setiap grafik batang menandakan beda nyata pada tingkat kepercayaan 5% dengan nilai HSD = 2,31)

Figure 1. Histogram of hydrolysis rate of ear-mushroom cultivation media residue - a. On various types of enzyme (different alphabets following number on each graphic shows significant difference at 5% level with HSD value = 5,78) - b. On various types of media (different alphabets following number on each graphic shows significant difference at 5% level with HSD value = 2,31).

perlakuan yang menghasilkan laju hidrolisis terbesar adalah media sisa yang terbuat dari kayu meranti dengan enzim Meicelase, sedangkan yang terendah adalah kombinasi media sisa yang terbuat dari kayu jati dengan enzim Driselase (Tabel 4). Kadar gula pereduksi pada penelitian ini berada pada kisaran yang sama dengan hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan bahan baku jerami dan bonggol jagung (28-125 mg/g) (Shawky et al. 2011).

Secara statistik tidak terdapat perbedaan yang nyata pada interaksi jenis enzim dengan jenis media terhadap kadar gula pereduksi, akan tetapi untuk faktor jenis enzim terdapat perbedaan yang nyata. Uji lanjut HSD pada faktor jenis enzim menunjukkan bahwa enzim Meicelase dan Cellulase memberikan nilai kadar gula pereduksi tertinggi, sedangkan enzim Driselase memberikan nilai kadar gula pereduksi terendah terhadap media sisa budidaya jamur (Gambar 2). Tingginya kadar gula pereduksi pada media sisa yang dihidrolisis oleh enzim Meicelase dan Cellulase diduga karena adanya kandungan enzim selobiohidrolase di dalam kedua enzim komersial tersebut. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Okada (1976) dan Anonimus (2016b) yang menyatakan bahwa di dalam enzim komersial Meicelase dan Cellulase terdapat selobiohidrolase yang dapat mendegradasi selobiosa sehingga menghasilkan

bentuk monosakarida yang terdeteksi sebagai gula pereduksi.

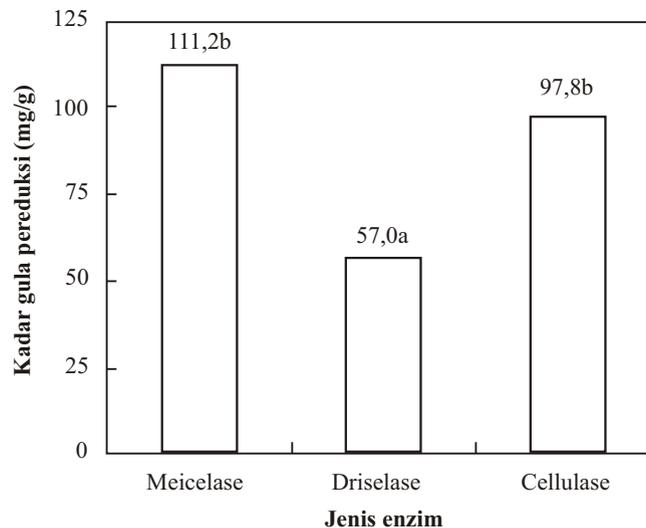
Gula pereduksi di dalam kayu berasal dari degradasi selulosa dan hemiselulosa. Walaupun kadar holoselulosa dan α -selulosa di dalam media sisa lebih rendah dibanding media baru (Tabel 2), namun kadar dan rendemen gula pereduksi yang dihasilkan dari media sisa lebih tinggi dibanding media baru (Tabel 4). Hal ini diduga disebabkan oleh aksesibilitas enzim selulase yang menjadi lebih baik terhadap α -selulosa pada media sisa budidaya jamur kuping dengan berkurangnya kadar lignin. Selain itu proses degradasi oleh jamur kuping diduga juga menyebabkan selulosa yang tersisa menjadi lebih pendek (derajat polimerisasinya rendah) sehingga lebih mudah dihidrolisis oleh enzim. Derajat polimerisasi yang rendah akan menyebabkan luas permukaan selulosa menjadi lebih besar sehingga aksesibilitas enzim terhadap selulosa menjadi lebih tinggi dan dapat meningkatkan rendemen proses hidrolisis (Kuo & Lee 2009). Rendemen kadar gula pereduksi yang tinggi menunjukkan bahwa biomasa tersebut baik bila digunakan sebagai bahan baku produksi bioetanol maupun bahan kimia lainnya. Gula pereduksi dapat difermentasi oleh *yeast* menjadi alkohol, butanol, dan berbagai alkohol lainnya.

Tabel 4. Kadar (mg/g) dan rendemen(%) gula pereduksi media sisa budidaya jamur kuping, media baru (kontrol), dan perubahan (%) kadar gula pereduksi setelah budidaya jamur kuping

Table 4. Content (mg/g) and yield (%) of reducing sugar of ear-mushroom cultivation spent media, new media (control), and changes (%) of reducing sugar content after ear-mushroom cultivation

Jenis Enzim	Jenis Media	Media Sisa		Media Baru (kontrol)		Perubahan
		Kadar	Rendemen	Kadar	Rendemen	
Meicelase	Sengon	105,4±10,5	10,5	59,9±2,5	6,0	(+) 75,9
	Meranti	127,7±22,3	12,8	60,8±3,9	6,1	(+) 109,8
	Jati	100,6±15,9	10,1	68,0±0,9	6,8	(+) 48,0
Driselase	Sengon	57,3±1,1	5,7	12,9±2,7	1,3	(+) 343,4
	Meranti	57,7±17,4	5,8	18,9±1,8	1,9	(+) 204,7
	Jati	56,0±10,4	5,6	18,7±2,3	1,9	(+) 198,9
Cellulase	Sengon	97,2±9,9	9,7	28,7±6,4	2,9	(+) 238,9
	Meranti	110,9±15,2	11,1	18,6±7,2	1,9	(+) 495,1
	Jati	85,4±19,5	8,5	15,6±7,0	1,6	(+) 446,5

Keterangan: perubahan (-) adalah mengalami penurunan, perubahan (+) adalah mengalami peningkatan
Note: changes (-) shows decreased value, changes (+) shows increased value



Gambar 2. Histogram kadar gula pereduksi media sisa budidaya jamur kuping pada berbagai jenis enzim (huruf yang berbeda yang mengikuti angka pada setiap grafik batang menandakan beda nyata pada tingkat kepercayaan 5% dengan nilai HSD = 31,54).

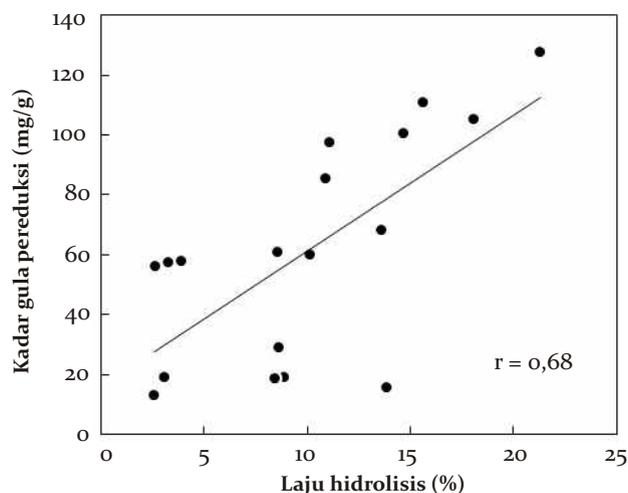
Figure 2. Histogram of reducing sugar content of ear-mushroom cultivation media residue on various types of enzyme (different alphabets following number on each graphic shows significant difference at 5% level with HSD value = 31.54).

Korelasi laju hidrolisis dan kadar gula pereduksi

Gambar 3 menunjukkan adanya korelasi yang positif antara laju hidrolisis dengan kadar gula pereduksi ($r=0,68$), artinya semakin tinggi laju hidrolisis maka semakin tinggi pula kadar gula pereduksi yang dihasilkan. Secara umum hal ini memang dapat diterima karena hasil hidrolisis selulosa adalah selulosa dengan derajat polimerisasi yang lebih pendek atau bahkan telah menjadi gula pereduksi. Akan tetapi hal ini tidak terjadi pada media yang terbuat dari kayu jati yang dihidrolisis dengan menggunakan enzim Driselase dan Cellulase, yaitu media tersebut mengalami penurunan laju hidrolisis dari media baru ke media sisa (Tabel 3), namun mengalami peningkatan kadar gula pereduksi dari media baru ke media sisa (Tabel 4). Hal ini diduga disebabkan oleh adanya kandungan dedak yang terdapat pada media baru yang mudah terhidrolisis oleh enzim akan tetapi telah berkurang digunakan sebagai nutrisi oleh jamur pada media sisa, sehingga laju hidrolisis media baru lebih tinggi dibanding media sisa. Akan tetapi karena kompleks enzim yang terdapat dalam Driselase dan Cellulase tidak lengkap, maka tidak dapat menghidrolisis sempurna selulosa dari dedak menjadi gula pereduksi. Di lain pihak

tingginya kadar gula pereduksi pada media sisa diduga berasal dari sisa selulosa yang telah terdegradasi oleh miselia jamur kuping sehingga lebih mudah terhidrolisis menjadi gula pereduksi ataupun berasal dari miselia jamur yang itu sendiri yang terdapat pada media sisa.

Selain dari itu, besarnya nilai perubahan baik laju hidrolisis maupun kadar gula pereduksi, didasarkan pada nilai masing-masing dari media baru (kontrol). Tingginya perubahan laju hidrolisis terkadang tidak seiring dengan perubahan kadar gula pereduksinya seperti yang terjadi pada media yang dihidrolisis dengan menggunakan enzim Meicelase. Kadar gula pereduksi yang sudah tinggi pada media baru yang dihidrolisis oleh enzim Meicelase menyebabkan peningkatan kadar gula pereduksi yang rendah jika dibandingkan dengan 2 enzim yang lain (Tabel 4). Kadar gula pereduksi yang tinggi pada media baru yang dihidrolisis oleh enzim Meicelase disebabkan oleh kandungan enzim kompleks yang lebih lengkap pada enzim Meicelase (Okada 1976) dibanding kedua enzim yang lain, sehingga komponen seperti dedak dan selulosa kayu dapat terhidrolisis dengan sempurna menjadi gula pereduksi, sedangkan pada kedua enzim yang lain walaupun juga terhidrolisis



Gambar 3. Diagram pencar korelasi antara laju hidrolisis dengan kadar gula pereduksi
Figure 3. Scatter diagram correlation between hydrolysis rate and reducing sugar content

namun diduga tidak sempurna menjadi gula pereduksi. Pernyataan ini didukung oleh Li et al. (2016) yang menyatakan bahwa intensitas adsorpsi dan interaksi antara selulosa dengan enzim sangat tergantung oleh jenis enzimnya. Kinerja enzim sangat tergantung oleh kesesuaian antara sisi aktif enzim dengan substrat yang dihidrolisisnya (Leatham & Himmel 1991).

Kesimpulan

Media sisa budidaya jamur kuping memiliki potensi sebagai bahan baku gula pereduksi yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi bio-etanol atau bahan kimia lainnya. Laju hidrolisis media sisa budidaya jamur kuping berkisar antara 1,43-21,29%, dengan kombinasi tertinggi yaitu media sisa budidaya yang terbuat dari serbuk kayu meranti dengan menggunakan enzim Meicelase. Kadar gula pereduksi tertinggi juga dihasilkan dari kombinasi perlakuan yang sama, yaitu sebesar 127,7 mg/g dengan kisaran hasil antara 56,0-127,7 mg/g.

Daftar Pustaka

Akamatsu Y. 1998. Reutilization of culture wastes of *Pleurotus ostreatus* and *Pholiota nameko* for cultivation of *Lyophyllum decastes*. *Journal of Wood Science* **44**:417-420.
 Anonimus. 2016a. Driselase. <http://www.biology-online.org/dictionary/Driselase>. Diakses Maret 2016.

Anonimus. 2016b. Cellulases. http://www.serva.de/www_root/documents/16419_26.pdf. Diakses Juni 2016.
 Balan V, Sousa LC, Chundawat SPS, Vismeh R, Jones AD, Dale BE. 2008. Mushroom spent straw: a potential substrate for an ethanol-based biorefinery. *Journal of Industrial Microbiol and Biotechnology* **35**: 293-301.
 Hiden A, Aoyagi H, Isobe S, Tanaka H. 2007. Utilization of spent sawdust matrix after cultivation of *Grifola frondosa* as substrate for ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation. *Food Science and Technology Research* **13**: 111-117.
 Hiyama R, Gisusi S, Harada A. 2011. Evaluation of waste mushroom medium from cultivation of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) as feedstock of enzymic saccharification. *Journal of Wood Science* **57**:429-435.
 Gomez KA, Gomez AA. 1995. *Prosedur statistik untuk penelitian pertanian*. Sjamsuddin E, Baharsjah JS, penerjemah. UI Press. Jakarta.
 Irawati D, Azwar NR, Syafi'i W, Artika IM. 2009. Pemanfaatan serbuk kayu untuk produksi etanol dengan perlakuan pendahuluan delignifikasi menggunakan jamur *Phanerochaete Chrysosporium*. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **3**:13-22.
 Irawati D, Hayashi C, Takashima Y, Wedatama S, Ishiguri F, Iizuka K, Yoshizawa N, Yokota S. 2012a. Cultivation of the edible mushroom *Auricularia polytricha* using sawdust based substrate made of three Indonesian commercial plantation species, *Falcataria moluccana*, *Shorea* sp., and *Tectona grandis*. *Micologia Aplicada International* **24** :33-41.
 Irawati D, Yokota S, Niwa T, Takashima Y, Ueda C, Ishiguri F, Iizuka K, Yoshizawa N. 2012b. Enzymatic saccharification of spent wood-meal media made of 5 different tree species after cultivation of edible mushroom *Auricularia polytricha*. *Journal of Wood Science* **58**:180-183.
 Kementerian Pertanian. 2012. *Laporan Akuntabilitas Kinerja Instansi Pemerintah Direktorat Jenderal Hortikultura TA 2012*. Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Hortikultura. Jakarta.
 Kurniati N. 2013. Teknik dan cara budidaya jamur kuping. <http://www.tanijogonegoro.com/2013/07/budidaya-jamur.html>. Diakses Maret 2016.

- Kuo CH, Lee CK. 2009. Enhancement of enzymatic saccharification of cellulose by cellulose dissolution pre-treatments. *Carbohydrate Polymers* **77**:41-46.
- Leatham GF, Himmel ME. 1991. *Enzymes in biomass conversion*. American Chemical Society. Washington.
- Lee JW, Koo BW, Choi JW, Choi DH, Choi IG. 2008. Evaluation of waste mushroom logs as a potential biomass resource for the production of bioethanol. *Bioresource Technology* **99**:2736-2741.
- Li Y, Sun Z, Ge X, Zhang J. 2016. Effects of lignin and surfactant on adsorption and hydrolysis of cellulases on cellulose. *Biotechnology for Biofuels* **9**:20. DOI 10.1186/s13068-016-0434-0.
- López-Castro RI, Delmastro S, Curvetto NR. 2008. Spent oyster mushroom substrate in a mix with organic soil for plant pot cultivation. *Micologia Aplicada International* **20**: 17-26.
- Medina E, Paredes C, Pérez-Murcia MD, Bustamante MA, Moral R. 2009. Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants. *Bioresource Technology* **100**: 4227-4232.
- Miller GL. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry* **31**: 426-428.
- Okada G. 1976. Enzymatic studies on a cellulase system of *Trichoderma viride* - Purification and properties of a less-random type cellulase. *Journal Biochemistry* **80**:913-922.
- Parjimo H, Andoko A. 2008. *Budidaya jamur : Jamur kuping, jamur tiram dan jamur merang*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Shawky BT, Mahmoud MG, Ghazy EA, Asker MMS, Ibrahim GS. 2011. Enzymatic hydrolysis of rice straw and corn stalks for monosugars production. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* **9**: 59-63.
- Sun Y, Cheng J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* **83**: 1-11.
- Ueda C, Takashima Y, Ishiguri F, Iizuka K, Yoshizawa N, Yokota S. 2015. Ozone oxidation pretreatment for enzymatic saccharification of spent culture media after *Lentinula edodes* cultivation. *Journal of Wood Science* **61**:65-69.
- Wilbraham AC, Matta MS. 1992. *Pengantar kimia organik dan hayati*. Achmadi S, penerjemah. Penerbit ITB, Bandung.
- Wood IP, Elliston A, Ryden P, Bancroft I, Roberts IN, Waldron KW. 2012. Rapid quantification of reducing sugars in biomass hydrolysates: Improving the speed and precision of the dinitrosalicylic acid assay. *Biomass and Bioenergy* **44**:117-121.
- Yokota S, Nakajima R, Suzuki D, Ishiguri F, Iizuka K, Yoshizawa N. 2007. Enzymatic saccharification and ethanol fermentation with the cultural waste from edible mushroom cultivation using wood meals of unused tree species, *Alnus japonica* and *Zelkova serrata*. *Cellulose Chemistry and Technology* **41**:575-582.