

**Uji Potensi Fungi Pelapuk Putih Asal Batang Kayu Pinus  
(*Pinus merkusii* Jungh et de vriese) Sebagai Pendegradasi Lignin  
(*Test of potential White Rot Fungi at Rotten Pine Wood  
(Pinus merkusii Jungh et de vriese ) as degrading lignin*)**

Parlin Bastian Simanjuntak<sup>1</sup>Edy B. M. Siregar<sup>2</sup>, Nelly Anna<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara Jl. Tri dharma Ujung No. 1  
Kampus USU 20155

(Penulis Korespondensi: E-mail: bastianjuntak@yahoo.com)

<sup>2</sup>Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara

**ABSTRACT**

*Lignin is a natural compound of plant that has a function for plant cell wall constituent. In pulp industries, lignin is a compound which is hard to be degraded. The purpose of this research is to get white rot fungi in the rotten pine wood, to determine potential of white rot fungi in biopulping process which obtained by measuring the activity of enzyme Lignin Peroxidase (LiP) at white rot fungi which is obtain from the rotten pine wood. The sample of the rotten pine wood taken from Taman Hutan Raya (Tahura) Berastagi. Bavendamm and ligninolytic enzyme activities test have found three spesies fungi which are in genus *Trametes* sp.1, *Trametes* sp.2, and *Phanerochaete* sp. The highest activity of enzyme lignin peroxidase was produced by *Trametes* sp.1 fungi by the value is 1,541 U/ml.*

*Key word: White rot fungi, Pine wood, Bavendamm test, enzyme lignin peroxidase.*

**PENDAHULUAN**

Dinding sel kayu terdiri atas tiga komponen makromolekul utama yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Lignin merupakan senyawa yang heterogen dengan berbagai tipe ikatan sehingga tidak dapat diuraikan oleh enzim hidrolisis. Lignin terbentuk dari gugus aromatik yang saling dihubungkan dengan rantai alifatik, yang terdiri atas 2-3 karbon. Lignin pada batang tanaman berfungsi sebagai bahan pengikat komponen penyusun lainnya, sehingga suatu pohon bersifat keras. Kayu keras normal mengandung 20-25% lignin, meskipun kayu keras tropika dapat mempunyai kandungan lignin lebih dari 30% .

Lignin merupakan polimer yang strukturnya heterogen dan kompleks yang terdiri dari koniferil alkohol, sinaphil alkohol, dan kumaril alkohol sehingga sulit untuk dirombak. Sekitar 30% material pohon adalah lignin yang berfungsi sebagai penyedia kekuatan fisik pohon, pelindung dari biodegradasi dan serangan mikroorganisme. Struktur yang kompleks dari lignin dengan berat molekul yang tinggi dan

tidak larut dalam air membuat lignin sukar didegradasi. Oleh karena itu, degradasi lignin membutuhkan enzim ekstraseluler yang bekerja secara tidak spesifik.

Industri kertas di Indonesia pada umumnya menggunakan pengolahan *pulp* secara kimia. Dengan pengelolaan secara kimia pasti menghasilkan limbah-limbah hasil industri, hal ini pasti akan mengakibatkan bertambahnya biaya pengolahan *pulp*, karena sekitar 20% biaya investasi harus disediakan untuk mengelola limbah proses pengelolaan secara kimia.

Teknologi *biopulping* (mengolah pulp dengan bantuan mikroba/jamur melalui proses pelapukan) juga mengurangi penggunaan listrik, sehingga dapat menghemat sebesar \$9 - \$20 per ton pulp. Dalam teknologi *biopulping* pulp yang dihasilkan lebih baik sehingga kertas yang dihasilkan berkualitas lebih baik, dan polusi dapat lebih dikurangi.

**METODE PENELITIAN**

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April sampai dengan Juni 2015.

Pengambilan sampel batang pinus di Taman Hutan Raya (Tahura) Berastagi. Isolasi fungi di Laboratorium Bioteknologi, Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, dan Pengukuran aktivitas LiP di Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara.

#### Bahan dan Alat Penelitian

Alat yang diperlukan pada penelitian ini antara lain neraca analitik, *sentrifuse*, spektrofotometer, *vortex*, *pH meter*, *shaker*, pipet serologi, cawan petri, inkubator fungi, sedangkan bahan yang diperlukan pada penelitian ini antara lain penyangga tartrat (pH 2.5),  $H_2O_2$ , guaiakol,  $MnSO_4$ , penyangga sitrat fosfat (pH 5.5), penyangga sodium asetat (pH 5.5) *veratryl alcohol*, *Potato Dextrose Agar* (PDA),  $KH_2PO_4$ ,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , tanin,  $K_2HPO_4$ , *Alkaline Lignin*,  $NH_4NO_3$ , KCL,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $MnCl_2 \cdot 2H_2O$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ .

#### Prosedur Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan di areal Taman Hutan Raya (Tahura) Berastagi. Kriteria sampel yang digunakan adalah batang kayu pinus yang sudah melapuk. Metode yang digunakan untuk pengambilan sampel yaitu menggunakan metode sensus dengan mengamati secara langsung kayu lapuk yang terinfeksi fungi, dan dilihat secara visual kayu lapuk lalu diambil sampelnya kemudian sampel dibersihkan dan dimasukkan kedalam kantung kertas dan disimpan didalam ruangan pada suhu kamar sampai proses isolasi.



Gambar 1. Sampel Kayu Pinus Lapuk

#### Isolasi Fungi

Sampel kayu pinus diambil secara aseptik dari pangkal batang pinus dan selanjutnya dibawa ke dalam laboratorium

(Gambar 1). Sampel dipotong menjadi ukuran 0,5 cm x 0,5 cm kemudian disebarkan di atas media PDA dan diinkubasi pada suhu ruang selama 2 x 24 jam. Koloni fungi yang tumbuh dipindahkan pada media PDA yang baru dan dibuat biakan murninya.

#### Skrining Aktivitas Enzim Ligninolitik

Skrining aktivitas enzimatis secara kualitatif dilakukan dengan uji Bavendamm. Isolat yang didapat ditumbuhkan pada media PDA yang ditambahkan 0,1% asam tanin. Bila terbentuk endapan coklat pada media, mengindikasikan adanya aktivitas fenol oksidase, maka fungi tersebut termasuk ke dalam kelompok fungi pelapuk putih (Nishida *et al.*, 1988).

#### Persiapan Sumber Enzim

Sumber enzim untuk uji kuantitatif dipersiapkan dengan membiakkan isolat fungi pada media ligninase cair pada suhu ruang selama 14 hari. Suspensi fungi disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm pada suhu 4 °C selama 15 menit. Suspensi berupa ekstrak enzim kasar digunakan untuk pengukuran aktivitas ligninolitik secara kuantitatif. Pengukuran aktivitas enzim ligninolitik dilakukan setiap 2 hari selama 14 hari.

#### Pengukuran Aktivitas Lignin Peroksidase (LiP)

Pengukuran aktivitas enzim LiP dilakukan menurut metode Bonnen *et al.*, (1994). Ekstrak enzim sebanyak 0,2 ml ditambahkan ke dalam 2,8 ml larutan penyangga tartrat (pH 2.5). Campuran ini ditambahkan *veratryl alcohol* 2 mM dan  $H_2O_2$  0.4 mM masing-masing sebanyak 1 ml. Campuran tersebut selanjutnya dihomogenkan dengan *vortex* dan diinkubasi selama 30 menit pada suhu kamar. Jumlah veratraldehida yang terbentuk diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 310 nm. Untuk larutan blanko digunakan 1 ml *veratryl alcohol* 2 mM dan 1 ml  $H_2O_2$  0.4 mM dan 0,2 ml akuades yang dipanaskan pada suhu 60 °C selama 5 menit.

Jumlah veratraldehida yang terbentuk dihitung berdasarkan rumus Lambert-Beer, yaitu :  $\Delta C = \frac{(A_t - A_o)}{(k \times b)}$

Dimana,

$\Delta C$  = jumlah veratraldehida yang terbentuk selama t menit (mol/liter)

$A_t$  = nilai absorbansi pada t menit

$A_o$  = nilai absorbansi pada awal reaksi

b = diameter kuvet (1 cm)

k = konstanta(veratraldehida = 9,300/M/cm)

Aktivitas enzim dinyatakan dalam satuan unit yang setara dengan 1 nmol veratraldehida yang dihasilkan per menit dari perlakuan 1 ml enzim yang direaksikan dalam kondisi asam, sehingga aktivitas enzim yaitu :

$$\text{Unit (U/ml)} = \frac{\Delta C \times V_{\text{tot}} (\text{ml}) \times 10^9}{\epsilon \text{ maks} \times d \times t (\text{menit}) \times V_{\text{enzim}} (\text{ml})}$$

Dimana,  $\epsilon$  maks = absorptivitas molar veratril alcohol (9300M-1 cm-1)

d = tebal kuvet (cm)

$V_{\text{tot}}$  = jumlah keseluruhan larutan

T = waktu (menit)

$V_{\text{enzim}}$  = volume enzim

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Isolasi Fungi Pelapuk Kayu

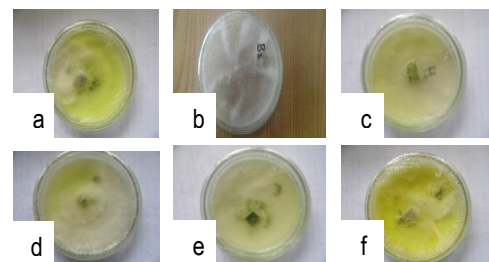
Sampel kayu yang sudah lapuk diambil dari tegakan pinus di Taman Hutan Raya (Tahura) Berastagi. Kemudian diisolasi dengan menggunakan PDA (*Potatoes Dextrose Agar*) sebagai medianya. Kayu pinus yang telah lapuk dan sudah terinfeksi fungi kemudian dipotong menjadi bagian-bagian kecil berukuran 0,5 cm x 0,5 cm, yang kemudian akan ditanam dalam media PDA. Setelah didiamkan selama 3-5 hari dalam ruangan maka selanjutnya dilakukan pemurnian ulang pada fungi yang tumbuh. Dari hasil tersebut diperoleh 13 isolat fungi yang kemudian dikelompokkan menjadi beberapa bagian berdasarkan penampakan visualnya. Adapun yang menjadi penampakan perbedaan visualnya seperti warna fungi dan bentuk permukaan koloni pada media. Setelah dilakukan pemilihan

berdasarkan pengamatan visual, ditemukan enam isolat.

Karakteristik keenam isolat fungi diamati dengan pengamatan makroskopis. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Makroskopik Fungi Pelapuk Kayu Pinus

Isolat Fungi	Warna Permukaan Koloni (3-5 hari)	Permukaan Koloni pada Petri (3-5 hari)
Fungi Pelapuk Putih A	Putih Kehijauan	Menggunung, berbentuk silindrikan berliku dan ramping
Fungi Pelapuk Putih B	Putih	Rata Seperti tepung
Fungi Pelapuk Putih C	Cokelat muda	Rata Seperti tepung
Fungi Pelapuk Putih D	Putih kehijauan	Rata seperti tepung, berbentuk silindrikan berliku dan ramping
Fungi Pelapuk Putih E	Cokelat muda	Hifa tipis merata
Fungi Pelapuk Putih F	Putih kekuningan	Tidak merata



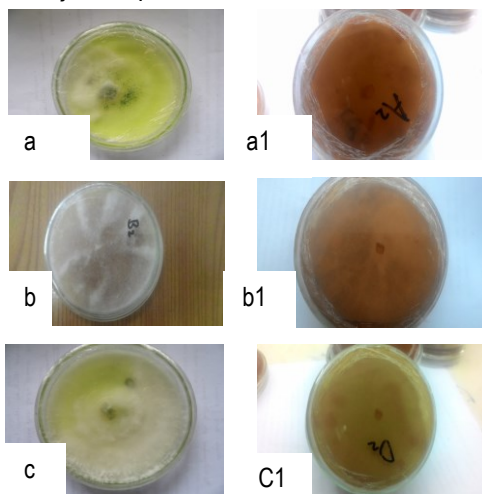
Gambar 2. Isolat Fungi Pelapuk Kayu Pinus (a) FPP A, (b) FPP B, (c) FPP C, (d) FPP D, (e) FPP E, (f) FPP F

### Skринing Aktivitas Enzim Ligninolitik dengan Uji Bavendamm

Setelah didapat isolat fungi yang penampakan visualnya berbeda dari yang lainnya maka keenam isolat fungi yang telah ada dilakukan skринing aktivitas enzim ligninolitik dengan uji bavendamm. Isolat fungi ditumbuhkan di tempat yang gelap (kotak tertutup). Hasil skринing aktivitas enzim ligninolitik dengan uji bavendamm

tersebut, diperoleh tiga isolat fungi yang menunjukkan reaksi positif.

Fungi dikatakan positif jika dalam cawan petri tempat fungi ditumbuhkan terdapat endapan coklat, seperti pernyataan Musa (2012) yang menyatakan jika pada media terbentuk endapan coklat maka uji Bavendammnya positif (+). Artinya fungi tersebut dapat mengoksidasi asam tannin sehingga fungi ini dapat dikelompokkan ke dalam fungi pelapuk putih. Warna coklat yang terbentuk karena adanya reaksi fenol oksidasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Uji Bavendamm Isolat Fungi Pelapuk Kayu Pinus ; (a) Isolat FPP A, (b) Isolat FPP B dan (c) Isolat FPP D menunjukkan hasil positif pada uji Bavendamm terdapat endapan coklat selama 3-5 hari.

Pada gambar isolat fungi yang positif uji bavendamm karena adanya endapan coklat. Endapan coklat merupakan hasil sekresi enzim lignolitik oleh karena kemampuan isolat fungi dalam menggunakan asam tanat sebagai sumber karbon dan diasumsikan sebagai hasil dari aktifitas polifenol menjadi kuinon yang menghasilkan polimer yang berwarna gelap (Prayudyaningsih *et al.*, 2007).

Hasil Uji Bavendamm menunjukkan terjadi degradasi lignin pada kayu pinus yang lapuk. Degradasi dapat dibagi dalam tiga kategori. Degradasi diawali pada selulosa, hemiselulosa kemudian degradasi lignin. Pertama, lignin yang didegradasi kemudian

diikuti degradasi selulosa dan hemiselulosa. Kedua, sebaliknya degradasi diawali pada selulosa dan hemiselulosa kemudian degradasi lignin. Ketiga, degradasi lignin dan selulosa berjalan secara bersamaan. Pada umumnya proses degradasi berjalan secara bertahap dan pada umumnya terjadi pemotongan rantai panjang dari polimer selulosa menjadi lebih pendek (Prasetya, 2005).

Tabel.2 Uji Bavendam Isolat Fungi dari Kayu Pinus Lapuk

Isolat Fungi	Endapan Coklat
FPP A	+
FPP B	+
FPP C	-
FPP D	+
FPP E	-
FPP F	-

Keterangan :+ = Terbentuk endapan coklat  
- = Tidak terbentuk endapan coklat

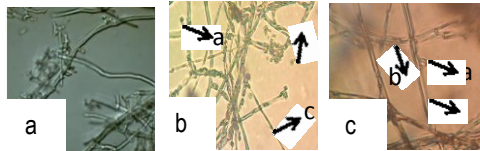
Uji positif ditandai dengan terbentuknya endapan coklat pada media, yang menunjukkan adanya aktivitas lignolitik (Gambar 3). Tiga isolat fungi yang menunjukkan hasil positif ditandai dengan adanya endapan coklat yang terbentuk pada media disebabkan oleh adanya reaksi pengoksidasian fenol yang terdapat pada media oleh fungi dengan bantuan enzim fenol oksidase. Fungi akan mengeluarkan enzim-enzim tertentu pada saat menempel pada substrat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Prasetya (2005) yang menyatakan bahwa degradasi lignin pada umumnya dimulai dari reaksi biotransformasi komponen kompleks lignin yang umumnya dilakukan oleh enzim yang dikeluarkan oleh fungi pelapuk putih.

#### Identifikasi Fungi Pelapuk Putih

Setelah didapat hasil uji bavendamm yang positif dari ketiga isolat fungi tersebut kemudian dilakukan identifikasi isolat fungi secara mikroskopis. Dari identifikasi didapat 2 jenis fungi yaitu *Trametes sp* pada 2 fungi (Isolat fungi FPP A dan FPP D) dan *Phanerochete sp* (Isolat

fungi FPP B) . Fungi yang didapat termasuk ke dalam divisi Basidiomycota dan masuk ke dalam keluarga Polyporaceae dan Phanerochaetaceae. Karakterisasi isolat fungi secara mikroskopis yang didapat dilihat berdasarkan bentuk hifa dan spora aseksual.

*Trametes* sp.



Gambar 4. (A) Mikroskopis *Trametes* sp. (B) Struktur Mikroskopis Isolat FPP A (C) Struktur Mikroskopis isolat FPP D( Perbesaran 100x) ( a: clamp connection, b: spora, c:hifa)

*Phanerochaete* sp.



Gambar 5. (A). Struktur mikroskopis *Phanerochaete* sp.)(B). Struktur Mikroskopis isolat FPP B (a: spora, b: septa, c:clamp connection)

Aktivitas Enzim Lignin Peroksidase (LiP)

Pengukuran aktivitas enzim Lip yang dilakukan setiap 2 hari selama 14 hari pengukuran. Isolat yang dikultur dalam media ligninase cair memiliki hasil yang berbeda-beda. Aktivitas produksi enzim LiP ditentukan dengan mengukur perubahan *veratryl alcohol* menjadi *veratraldehida* pada panjang gelombang 310 nm. Aktivitas enzim LiP yang tertinggi didapatkan pada spesies *Trametes* sp. 1 pada hari ke-8 pengukuran ke-4 yaitu sebesar 1,541 (U/ml) kemudian mengalami penurunan pada pengukuran selanjutnya sampai akhir pengukuran di hari ke-14. Pada isolat fungi *Phanerochaete* sp. , aktivitas enzim tertinggi di dapat pada hari ke-8 pengukuran ke-4 yaitu sebesar 0,77 (U/ml) dan pada hari ke-10 telah terjadi penurunan aktivitas enzim LiP, dan kemudian aktivitas berhenti pada hari ke-14 ,pengukuran ke- 7. Isolat fungi *Trametes* sp.

2 mengalami puncak aktivitas enzim pada hari ke-8,pengukuran ke-4 yakni sebesar 1,344 (U/ml) dan kemudian terjadi penurunan aktivitas enzim pada hari ke-10dan berhenti pada hari ke 14 .

Dari ketiga isolat fungi yang telah diuji didapat bahwa isolat fungi yang memiliki aktivitas enzim LiP tertinggi adalah isolat fungi *Trametes* sp. 1 sebesar 1,541 (U/ml) dan kemudian diikuti isolat fungi *Trametes* sp. 2 yaitu 1,344 (U/ml) dan aktivitas enzim isolat fungi *Phanerochaete* sp. adalah yang terendah yakni sebesar 0,77 (U/ml).

Tabel 4. Aktivitas Enzim Lignin Peroksidase (LiP) dari Isolat Fungi Pelapuk Kayu Pinus (U/ml)

Waktu (Hari)	Isolat		
	<i>Trametes</i> sp. 1	<i>Phanerochaete</i> sp.	<i>Trametes</i> sp. 2
2	0,000	0,000	0,000
4	0,577	0,095	0,095
6	0,866	0,192	0,577
<b>8</b>	<b>1,541</b>	<b>0,770</b>	<b>1,344</b>
10	1,059	0,385	0,770
12	0,481	0,095	0,385
14	0,000	0,000	0,000

Dari hasil pengukuran yang didapat terlihat jelas perbedaan aktivitas enzim pada ketiga isolat fungi yang diukur. Hal ini mungkin dipengaruhi oleh jenis fungi dan kemampuan fungi dalam mengubah substrat yang tersedia. Gandjar *et al.*,(2006) menyatakan bahwa substrat adalah sumber nutrisi utama bagi fungi, untuk bertahan hidup fungi mengeluarkan enzim ekstraseluler yang berguna untuk mengubah senyawa-senyawa kompleks dari substrat menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Enzim yang dihasilkan fungi dalam mengubah substrat menjadi senyawa yang lebih sederhana mempunyai kemampuan dan kecepatan berbeda-beda.





Gambar 6. Aktivitas Enzim Lignin Peroksidase (LiP) dari Isolat Fungi Pelapuk Kayu Pinus

Aktivitas enzim Lignin Peroksidase (LiP) pada ketiga isolat fungi pelapuk putih dimulai pada hari ke 4 (Gambar 6). Pada isolat fungi *Trametes* sp. 1 aktivitas enzim terlihat maksimum pada hari ke 8 yaitu 1,541 dan kemudian menurun di hari selanjutnya dan berhenti pada hari ke-14. Enzim LiP pada Isolat fungi *Phanerochaete* sp. mencapai aktivitas maksimumnya pada hari ke-8 yaitu 0,770 dan pada hari selanjutnya terus mengalami penurunan. Tidak berbeda jauh dari kedua isolat fungi sebelumnya isolat fungi *Trametes* sp. 2 mengalami aktivitas enzim maksimum adalah pada hari ke-8 yaitu sebesar 1,344 dan berhenti pada hari ke-14.

Aktivitas enzim tertinggi isolat fungi pelapuk putih *Trametes* sp.1 yang didapat adalah sebesar 1,541 U/ml pada hari ke-8. Herliyana (2007) melaporkan isolat *Pleurotus* EA4 pada substrat kayu sengon mencapai aktivitas enzim LiP tertinggi pada hari ke-6 sebesar 0,430 U/ml.

Dari hasil aktivitas enzim yang telah diukur (Gambar 6) dilihat waktu pola aktivitas enzim LiP dari ketiga isolat fungi pelapuk putih yang didapat relatif sama, aktivitas dimulai pada hari ke-4 dan mengalami puncak aktivitas pada hari ke-8. Widjaja *et al.* (2004) melaporkan aktivitas maksimum enzim LiP pada *P. chrysosporium* dicapai pada hari ke-4 sebesar 0,81 U/ml, dan langsung mengalami penurunan karena pertumbuhan fungi mulai menurun dan adanya kematian sel.

Penelitian yang dilaporkan oleh Sigit (2009), diperoleh aktivitas maksimum LiP pada jamur tiram Thailand lebih tinggi dari jamur tiram Bogor pada media *Sludge* yaitu sebesar 4,014 U/ml. Hal ini dapat dikaitkan dengan Supriyanto (2009) yang

menyatakan bahwa jenis isolat fungi pelapuk putih yang ditemukan dan juga media yang digunakan berpengaruh dalam produksi enzim lignin peroksidase.

Kurva aktivitas enzim LiP ketiga isolat fungi pelapuk putih (Gambar 6) menunjukkan hasil yang sama. Pada hari ke-2 sampai hari ke-4 terjadi fase lag yaitu fase penyesuaian sel-sel dengan lingkungannya dan pembentukan enzim-enzim untuk mengurai substrat. Pada hari ke-4 sampai hari ke-6 terjadi fase akselerasi dimana mulainya sel-sel membelah dan fase lag menjadi fase aktif. Di hari ke-6 sampai ke-8 terjadi fase eksponensial yaitu fase perbanyak jumlah sel yang sangat banyak, aktivitas sel sangat meningkat. Pada hari ke-8 sampai hari ke-10 dinamakan fase deselerasi dimana sel-sel mulai kurang aktif membelah. Fase terakhir adalah fase kematian dipercepat yaitu pada hari ke-12 sampai hari ke-14 dimana jumlah sel yang sudah mati lebih banyak daripada yang masih hidup (Gandjar, 2006).

Pengukuran aktivitas enzim pada ketiga isolat fungi memiliki hasil yang berbeda-beda karena dipengaruhi beberapa faktor seperti jumlah substrat yang tersedia, kelembapan yang cocok, suhu, derajat keasaman ( $pH < 7$ ) dan bahan kimia yang ada (Gandjar, 2006).

Dari ketiga isolat fungi yang diuji dapat dilihat bahwa isolat fungi *Trametes* sp. 1 mempunyai potensi yang tinggi untuk diaplikasikan dalam proses *biopulping*. Proses *biopulping* dengan menggunakan fungi pelapuk sebagai pendegradasi lignin kayu, akan menghasilkan limbah yang ramah lingkungan. Proses *biopulping* dapat mengurangi biaya produksi, seperti pernyataan Fadillah (2008) yang menyatakan sekitar 20% dari biaya investasi harus disediakan untuk mengelola limbah proses pengolahan secara kimia.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Didapat tiga isolat fungi yang positif fungi pelapuk putih pada kayu pinus lapuk yaitu *Trametes* sp. 1,

- Phanerochaete* sp., dan *Trametes* sp. 2 dan ketiga isolat fungi pelapuk putih yang didapat memiliki pola aktivitas enzim LiP yang sama .
2. Aktivitas enzim Lignin Peroksidase (LiP) tertinggi selama pengukuran secara berturut-turut adalah adalah *Trametes* sp. 1, *Trametes* sp. 2, dan *Phanerochaete* sp.
  3. Jenis fungi yang memiliki potensi yang tinggi dalam proses *biolpuling* adalah jenis fungi *Trametes* sp. 1 karena memiliki nilai aktivitas enzim Lignin Peroksidase (LiP) yang paling tinggi.

#### Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui laju aktivitas pendegradasian lignin pada jenis enzim pendegradasi lignin lain seperti Manganase peroksidase (MnP) dan Lakase.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, D. 2009. Kadar Lignin dan Tipe Monomer Penyusun Lignin Pada Kayu Akasia. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Akhtar, M.R.A., Blachette dan T.K. Kirk. 1997. Fungal Delignification and Biomechanical Pulping Of wood. *Advances in Biochemical Engineering Biotechnology*.
- Bonnen, A. M., Anton. L. H and Orth. A. B. 1994. Lignin-Degrading Enzymes of The Commercial Button Mushroom, *Agaricus bisporus*. *Appl. Environ.Microbiol.* 60(3): 960-965.
- Dashtban, M., Schraft. H., Syed. A and Qin, W. 2010. Fungal Biodegradatian and Enzymatic Modification of Lignin. *Int J Biochem Mol Biol* 1(1): 36-50.
- Fadillah S, Distantina, E. Kriswiyati dan A. Jumari. 2008. Bioledignifikasi Batang Jagung Dengan Jamur Pelapuk Putih *Phanerochaete chrysosporium*. *Ekuilibrium* 7:7-11.
- Gadd, M. G. 2001. *Fungi in Bioremediation*. Cambridge University Press. United Kingdom. Hlm. 16-35.
- Gandjar,I., R.A. Samson, K.van den Tweel-Vermeulen, A, Oetari&I. Santoso. 1999. Pengenalan Kapang Tropik Umum. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- Gandjar, I S. Wellyzar, dan Aryanti. 2006. Mikologi Dasar dan Terapan. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Gold, M.H and Alic. M. 1993. Molecular Biology of The Lignin-Degrading Basidiomycetes *Phanerochaete chrysosporium*. *Microbiol. Rev.* 57: 605-622.
- Hardjo, S., N. S. Indrasti, dan T. Bantacut. 1989. Biokonversi : Pemanfaatan Limbah Industri Pertanian. PAU-Pangan dan Gizi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Haygreen, J dan Bowyer, J.L. 2000. Hasil Hutan dan Ilmu Kayu. Gadjah Mada University Press.
- Herliyana. 2007. Potensi Ligninolitik Jamur Pelapuk Kayu Kelompok *Pleorotus*. [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Johjima, T., Noriyuki, I, M., Tokimura, F. Nakagawa, T., Wariishii, H., dan Tanaka, H. 1999. Direct Interaction of Lignin And Lidnin Peroxidase From *Phanerochatae chrysosporium*, *Proc.Natl.Acad.Sci.USA*,96, 1989-1994.
- Kerem, Z and Hadar. Y. 1998.Lignin Degradaging Fungi Mechanism and Utilization. The Heberw University of Jerusalem. Israel.
- Khan, A.H. 1954. Decay in Timber its Cause in Counter. *Forest Research*. Instiute Abbottabad, Pakistan.

- Manion, P. D. 1991. *Tree Diseases Concepts*. Prantice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Munir, E. 2006. *Pemanfaatan Mikroba dalam Bioremediasi Suatu Teknologi Alternatif Untuk Pelestarian Lingkungan*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Murthihapsari, 2008. *Biodekomposisi Kayu Keras*. Fakultas MIPA. Mayor Kimia Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Musa, B. H. 2012. *Wood Rot fungi Identification on Dead Wood Biodelignification Process in Taman Hutan Raya Bukit Barisan, Karo District*. [Skripsi]. Medan. Universitas Sumatera Utara.
- Nishida, T., Y. Kashino, A. Mimura and Takahara. 1988. Lignin Biodegradation by Wood-Rotting Fungi I. Screening of Lignin-Degrading Fungi. *Makuzai Gakkaishi* 34: 530-536.
- Orth A.B., D.J. Royse, M. Tien. 1993. Ubiquity of lignin degrading peroxidases among various wood-degrading fungi. *Appl Environ Microbiol* 59:4017-4023.
- Perez, J., Dorado, J., Rubia. T and Martinez. J. 2002. Biodegradation and Biological Treatment of Cellulose, Hemicellulose and Lignin. An overview. *Int. Microbiol.* 5:53-63.
- Prasetya.B. 2005. *Proses dan Produksi Ramah Lingkungan*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.
- Prayudyarningsih, R., H. Tikupadang dan N.A. Malik, 2007. Jamur Pendegradasi Lignin pada Serasah Eboni (*Diospyros celebica* Bakh.). *Prosiding Ekspose*: 81-88.
- Semangun, H. 1996. *Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sigit, M. 2009. *Pola Aktivitas Enzim Lignolitik Jamur Tiram (Pleorotus ostreatus) Pada Media Sludge Industri Kertas*. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Supriyanto. 2009. *Manfaat Jamur pelapuk Putih Phanerochaeta chrysosporium L1 dan Pleorotus EB9 Untuk Biobleaching Pulp Kardus Bekas*. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Tambunan, B dan D. Nandika. 1989. *Deteriorasi Kayu oleh Faktor Biologis*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Toumela, M. 2002. *Degradation of Lignin and Other <sup>14</sup>C-labelled Compounds in Compost and Soil with An Emphasis on White Rot Fungi*. [Dissertation]. Finland: University of Helsinki.
- Widjaya,A., Ferry, Musmariadi. 2004. *Pengaruh Berbagai Konsentrasi Mediator pada Biodelignifikasi Menggunakan Enzim Kasar Peroksidase vol 3 (71-79)*.
- Widyastuti. S.M, Sumardi, dan Harjono. 2005. *Patologi Hutan. Gajah Mada University Press. Yogyakarta*.
- Wong, S. 2008. Structure and Action Mechanism of Ligninolytic Enzymes. *Appl Biochem Biotechnol.* 157: 174-209.