

# ISOLASI DAN KARAKTERISASI JAMUR LIGNINOLITIK SERTA PERBANDINGAN KEMAMPUANNYA DALAM BIODELIGNIFIKASI

PUTRI ELVIRA VALENCIA, VINCENTIA IRENE MEITINIARTI

Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Jalan Diponegoro 52-60 Salatiga 50711

## ABSTRACT

Fungi can survive in various environments on different media including wood. Lignin in timber is hard to degrade efficiently because of its polymer form, and only a few of it can be hydrolyzed because of its composite and complex structure. Ligninolytic fungi produce an extracellular enzyme to withstand to toxic or mutagenic chemicals exposure and known to degrade different types of pollutant compounds. Lignin decomposers were also known to play a significant role in the pulping process of paper mills, used in waste treatment such as textile and hydrocarbon wastes. This study was conducted to obtain fungal isolates that have de-lignification capability and to compare the ability of fungal isolates to degrade lignin. The research isolated samples from rotten wood and soil using selective lignin medium with tannic acid as sole C source. This study characterized the isolates by its morphology and identified using the Morphology and Taxonomy of Fungi book by Bessey (1950) as a reference. This study compared the ligninolytic capability by measuring the transparent zone formed on selective lignin media. This research found 14 isolates of fungi and all of them had a ligninolytic capability. *Aspergillus niger* isolate has the highest ligninolytic capability by producing 6.45 cm clear zone diameter on the 7th day. *Aureobasidium* sp has the smallest clear zone diameter of 1.9 cm within the same period.

KEY WORDS: fungi, lignin, biodelignification, ligninolytic, *Aspergillus niger*, *Aureobasidium* sp.

Penulis korespondensi: VINCENTIA I MEITINIARTI | email: irene.meitiniarti@staff.uksw.edu

Dikirim: 18-07-2017 | Diterima: 25-08-2017

## PENDAHULUAN

Jamur adalah organisme yang dapat bertahan hidup pada berbagai lingkungan dengan media yang berbeda-beda, serta memperoleh makanannya dari media tempat jamur tersebut tumbuh. Jamur juga dapat hidup pada sisa tumbuhan atau hidup melekat pada organisme lain. Jamur memiliki kemampuan dan fungsi yang berbeda-beda sesuai dengan lingkungan yang ditinggalkannya. Salah satu media yang biasa digunakan untuk tempat tumbuhnya adalah batang kayu. Jamur yang tumbuh pada batang kayu memiliki kemampuan dalam menguraikan substansi kayu. Jamur kayu dibagi ke dalam 2 kelompok sesuai dengan kemampuannya dalam mengurai substansi kayu yaitu *white rot* dan *brown rot*. Jamur yang termasuk kedalam kelompok *white rot* yaitu jamur yang mampu menguraikan lignin, selulosa dan hemiselulosa yang terkandung di dalam kayu. Sedangkan jamur yang termasuk ke dalam *brown rot* adalah jamur yang hanya mampu menguraikan selulosa dan hemiselulosa (Artiningsih, 2006).

Substansi kayu yang tidak mudah diuraikan yaitu lignin. Lignin merupakan polimer yang didalamnya terkandung hydroxycinnamyl alcohols (atau monolignols), coniferil alcohol dan sinapyl alcohol dengan jumlah kecil dari *p*-coumaryl alcohol (Vanholme *et al*, 2010). Ikatan yang dapat dihidrolisis hanya sedikit karena strukturnya heterogen dan kompleks. Lignin akan berhubungan dengan ikatan yang berbeda dan senyawa ini terkonsentrasi pada bagian lamella tengah serta lapisan dinding sel yang terbentuk pada proses lignifikasi yang terjadi pada jaringan tanaman (Steffen, 2003). Lignin dapat bertahan terhadap hidrolisis dikarenakan adanya ikatan aril eter yang terdiri dari carbon-oxygen (ether) dan carbon-carbon (C-C) (Parthasarathi *et al*,

2011). Lignin yang terkandung dalam tumbuhan sebesar 30% yang menyebabkan tumbuhan kuat terhadap serangan berbagai mikroorganisme (Orth *et al*. 1994).

Dikarenakan struktur senyawa yang sangat kompleks dan ditambah dengan sifatnya yang kaku, sangat sulit untuk mendekomposisi lignin secara alamiah dan hanya sedikit mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa ini. Jamur *white rot* termasuk ke dalam mikroorganisme yang bersifat ligninolitik yang artinya mampu mendegradasi lignin. Jamur *white rot* yang tergolong dalam kelompok *Basidiomycetes* umumnya banyak dijumpai pada substrat kayu. Ada beberapa jenis jamur yang sudah banyak dilaporkan dapat mendegradasi senyawa lignin, yaitu *Phanerochaete chrysosporium* (Tien dan Kirk, 1983), *Trametes versicolor* (Roy dan Archibald, 1993), dan *Polyporus anceps* (Fengel dan Wagener, 1989). Juga dilaporkan jenis *Ganoderma applanatum* memiliki potensi dalam biodelignifikasi (Schlegel dan Schmidt, 1984) yang termasuk dalam golongan Ganodermataceae, Aphyllophorales, Basidiomycetes dan Basidiomycota (Hawksworth *et al*. 1995). Namun, jamur *Phanerochaete chrysosporium* 3x lebih efisien dalam mendegradasi lignin dibandingkan dengan jamur dari genus *Polyporus* sp. (Dey *et al*. 1994). Karena efisiensinya yang sangat besar dalam mendegradasi lignin, maka diantara jamur ligninolitik lainnya, *Phanerochaete chrysosporium* merupakan jamur yang paling banyak dipelajari (Howard *et al*, 2003).

Jamur *white rot* sudah banyak digunakan untuk penguraian lignin pada berbagai penelitian seperti *Bjerkandera adusta* pada inkubasi selama 40 jam dapat mendegradasi lignin hingga 40% dan mengurangi warna pada lignin sampai 70%. Menurut

beberapa penelitian, jamur yang tergolong dalam kelompok *white rot* tidak hanya dapat menguraikan lignin, namun juga dapat menguraikan berbagai jenis senyawa polutan. Enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh jamur ini menyebabkan jamur dapat bertahan terhadap paparan bahan kimia yang bersifat toksik atau mutagenik seperti DDT, PCB, linden, dioxin dan benzo-a-pyrene (Subowo, 2009).

Teknik biodelignifikasi merupakan salah satu teknik degradasi lignin dengan menggunakan jamur. Teknik ini merupakan teknik yang ramah lingkungan. Jamur yang digunakan merupakan jamur yang termasuk dalam kelompok *white rot* dimana jamur ini memiliki potensi yang besar dalam biodelignifikasi dikarenakan jamur pada kelompok ini menghasilkan enzim ligninolitik yang dapat mendegradasi lignin. Teknik biodelignifikasi dapat diaplikasikan sebagai pengganti teknik sulfat dalam proses pulping yang dilakukan pada pabrik kertas. Teknik inipun tergolong lebih murah dibandingkan dengan pemakaian teknik sulfat dalam skala industri. Kemampuan jamur ini dalam degradasi juga dapat dikembangkan melalui proses bioteknologi untuk degradasi polimer kompleks, contohnya senyawa xenobiotic, pengurangan warna *effluent* dan *biobleaching* dari *kraft pulp* (Moreira *et al.* 2004). Jamur pengurai lignin juga memiliki fungsi lainnya yaitu dapat digunakan dalam pengolahan limbah seperti limbah tekstil dan hidrokarbon. Menurut Abdulla (2007), *Trametes hirsuta* memiliki enzim laccase yang dapat mengurangi warna dan tingkat toksisitas dari pewarna tekstil juga mampu mendegradasi triarylmethana, indigoid, azo dan pewarna anthraquinon (Subowo, 2009).

Mengingat pentingnya peranan jamur pengurai lignin dalam bidang industri dan pengolahan limbah serta lingkungan, maka penelitian dalam bidang ini terus dikembangkan. Isolasi jamur juga semakin banyak dilakukan agar semakin banyak ditemukan jamur yang memiliki kemampuan dalam biodelignifikasi serta dikembangkan dalam penggunaannya untuk diaplikasikan ke berbagai bidang yang berhubungan dengan pengolahan limbah dan lingkungan.

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan isolat-isolat jamur yang memiliki kemampuan biodelignifikasi serta mengkarakterisasi jenis dan kemampuannya dalam mendegradasi lignin.

## METODE

Isolasi jamur dilakukan dengan pengambilan sampel pada kayu dari pohon mangga (*Mangifera indica*). Kemudian dilakukan pengenceran sampel hingga  $10^{-5}$  menggunakan larutan garam fisiologis steril. Dari seri pengenceran  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-5}$  masing-masing diambil 0,1 ml dengan mikropipet dan ditaburkan pada medium selektif lignin dengan komposisi 1,5% *malt extract*, 0,5% asam tannin dan 2% agar. Setiap pengenceran dilakukan pengulangan sebanyak 3x. Inkubasi dilakukan selama 3–5 hari sampai terbentuk zona bening. Zona bening yang terbentuk menandakan adanya jamur yang dapat mendegradasi lignin yang

terkandung didalam media. Kemudian, dilakukan pemurnian isolat jamur dengan menggunakan media PDA.

Karakterisasi isolat jamur dilakukan secara makroskopik. Pengamatan mikroskopik dilakukan pada isolat jamur yang ditumbuhkan dengan teknik *slide culture* (Silawati, 2013). Metode *slide culture* dilakukan dengan alat dan bahan yang terdiri dari gelas objek, batang penahan gelas objek, gelas penutup dan kapas yang telah disterilkan sebelumnya. Media diteteskan secukupnya pada gelas objek kemudian jamur dititikan pada medium. Gelas objek ditutup dengan gelas penutup dan diletakkan didalam cawan petri yang diberi kapas dan diberi batang gelas sebagai penahan. Kapas ditetesi sedikit akuades steril dan diletakkan pada bagian kiri kanan gelas objek dalam cawan petri untuk menjaga kelembaban di dalam cawan petri. Cawan petri kemudian dibungkus kertas dan diinkubasi selama 3-5 hari. Identifikasi jamur didasarkan pada karakter morfologi isolat jamur dibandingkan dengan buku acuan berjudul *Morphology and Taxonomy of Fungi* (Bessey, 1950).









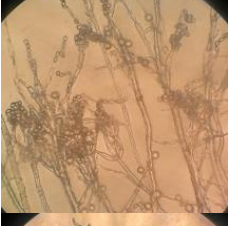
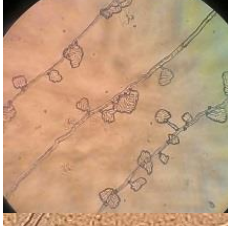

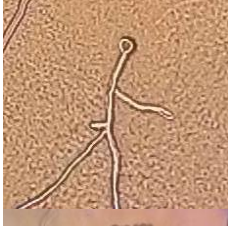

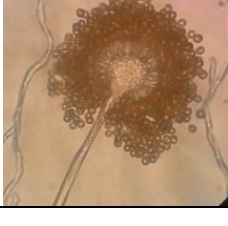
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil isolasi dari berbagai sumber, diperoleh 14 isolat jamur yang dapat tumbuh pada medium yang mengandung lignin, kemudian diidentifikasi berdasarkan morfologinya yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari hasil identifikasi, ke 14 isolat jamur tersebut tergolong dalam genus *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Scopulariopsis*, *Fusarium*, dan *Aureobasidium*. Menurut Adlini (2014), *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp. dan *Aspergillus* sp. merupakan jenis jamur yang kebanyakan dapat tumbuh pada media yang mengandung lignin. Bahkan jamur *Penicillium* sp. dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman pada tanah gambut karena membantu menyediakan unsur hara bagi tanaman tersebut yang dilakukan dengan cara mendegradasi sisa-sisa bahan organik (termasuk senyawa lignin) pada tanah gambut (Yuleli, 2009). Secara keseluruhan, jamur-jamur yang telah diketahui jenisnya termasuk kedalam Divisi *Ascomycota* namun tergolong dalam Famili yang berbeda-beda. Jamur yang memiliki genus *Aspergillus* sp. dan *Penicillium* sp. yang telah diidentifikasi termasuk kedalam Famili *Trichocomaceae*. Kedua genus jamur ini diketahui memiliki kemampuan degradasi lignin yang cukup baik dibandingkan dengan genus jamur lainnya yang juga telah dibuktikan dalam penelitian lainnya (Subowo dan Corazon, 2010). Jamur yang tergolong kedalam Divisi *Ascomycota* kebanyakan dapat mendegradasi lignin meskipun dengan kemampuan yang berbeda-beda sesuai dengan kemampuan dari spesies jamur masing-masing (Sadhasivam *et al.*, 2008).

Kemampuan mendegradasi lignin akan sangat membantu mengembalikan unsur C yang ada dalam kebanyakan bahan organik yang berasal dari tumbuhan, sehingga membantu menyediakan kebutuhan hara tumbuhan (Yuleli, 2009). Aktivitas masing-masing isolat dalam biodelignifikasi dapat diuji dengan menumbuhkan isolat jamur pada medium yang mengandung lignin.

**Tabel 1.** Hasil identifikasi isolat jamur pendegradasi lignin

No.	Gambar	Karakter dan Identitas	No.	Gambar	Karakter dan Identitas
1.		<b>Penicillium sp1.</b> Warna koloni hijau, hifa bersepta dan membentuk konidium  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Trichomaceae</i>	8.		<b>Scopulariopsis sp.</b> Warna koloni putih kekuningan  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Microascaceae</i>
2.		<b>Aspergillus flavus</b> Warna koloni hijau kecoklatan, bersepta, miselium bercabang  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Trichomaceae</i>	8.		<b>Aspergillus sp1.</b> Warna coklat kekuningan, hifa bersepta  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Trichomaceae</i>
3.		<b>Byssochlamys sp.</b> Warna koloni kuning kecoklatan, konidia dengan konidiofor bersepta  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Trichomaceae</i>	10.		<b>Penicillium sp3.</b> Warna koloni hijau tua kecoklatan, hifa bersepta dan membentuk konidium  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Trichomaceae</i>
4.		<b>Aspergillus niger</b> Warna koloni hitam, hifa bersepta  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Trichomaceae</i>	11.		<b>Fusarium sp.</b> Warna koloni kuning pucat, miselium bersekat, membentuk percabangan  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Nectriaceae</i>
5.		<b>Penicillium chrysogenum</b> Warna koloni hijau tua, hifa bersekat  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Trichomaceae</i>	12.		<b>Aureobasidium sp.</b> Warna koloni hitam, hifa hialin dan bersepta  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Aureobasidiaceae</i>
6.		<b>Trichoderma harzianum</b> Warna koloni putih kehijauan, konidiofor emiliki banyak cabang  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Hypocreaceae</i>	13.		<b>Monascus sp.</b> Warna koloni merah jingga, bersepta bercabang tidak beraturan  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Elaphomycetaceae</i>
7.		<b>Penicillium sp2.</b> Warna koloni hijau tua dengan tepian putih, hifa bersepta  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Trichomaceae</i>	14.		<b>Aspergillus sp2.</b> Warna koloni hijau tua kecoklatan, hifa bersepta  Divisi : <i>Ascomycota</i> Famili : <i>Trichomaceae</i>

Pada Tabel 2. dapat dilihat perbandingan aktivitas biodelignifikasi dengan membandingkan ukuran diameter zona bening yang terbentuk pada masing-masing koloni jamur. Semakin besar ukuran diameter zona bening maka semakin tinggi pula aktivitas biodelignifikasinya, begitu juga sebaliknya. Ukuran

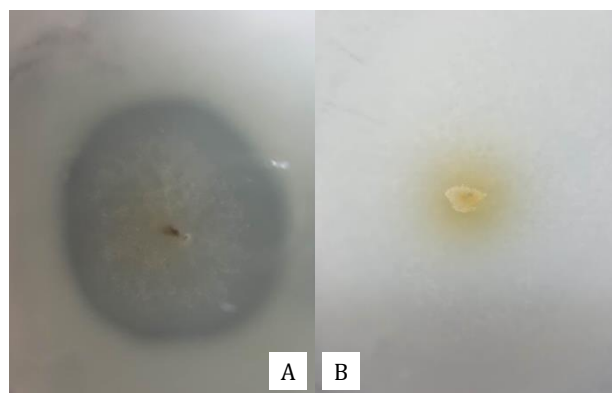
diameter zona bening jamur diukur pada hari ke-3, 5 dan 7. Berdasarkan hasil yang tertera pada tabel diketahui bahwa seluruh jenis jamur dapat tumbuh pada hari ke-3 dengan diameter zona bening yang berbeda-beda. Jamur memang dinyatakan sebagai kelompok penting dalam degradasi bahan organik

pada tahap awal, khususnya dalam pengomposan, yang juga di dalamnya terkandung senyawa lignin (Klamer and Baath, 1998). Pada hasil yang tertera di atas, kemampuan isolat jamur yang paling besar dalam mendegradasi senyawa lignin adalah jamur *Aspergillus niger* yang diketahui dari ukuran diameter zona bening terbesar dalam penelitian ini yaitu pada hari ke-7 mencapai ukuran diameter 6,45cm (Gambar 3). Jamur ini juga banyak dimanfaatkan oleh berbagai penelitian dalam hal penguraian lignin maupun sebagai agen yang membantu untuk penyuburan tanah. Dalam berbagai penelitian, enzim dari jamur ini digunakan untuk mengurai lignin menjadi senyawa karbon sederhana yang akan digunakan oleh mikroba dalam tanah untuk sumber energy yaitu sumber karbon (Lakshmikant, 1990).

**Tabel 2.** Hasil ukuran diameter zona bening yang terbentuk pada perbandingan aktivitas biodelignifikasi

No. Isolat Jamur	Diameter zona bening (cm)		
	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
1. <i>Aspergillus niger</i>	3,15	4,75	6,45
2. <i>Penicillium</i> sp3.	1,75	2,80	3,65
3. <i>Aspergillus</i> sp3.	1,90	2,90	3,45
4. <i>Aspergillus flavus</i>	1,65	2,50	3,35
5. <i>Scopulariopsis</i> sp.	1,75	2,55	3,30
6. <i>Aspergillus</i> sp1.	1,55	2,40	3,25
7. Familia : <i>Trichocomaceae</i>	1,60	2,45	3,20
8. <i>Penicillium chrysogenum</i>	1,50	2,50	3,20
9. <i>Penicillium</i> sp1.	1,70	2,60	3,15
10. <i>Penicillium</i> sp2.	1,65	2,40	3,15
11. <i>Trichoderma harzanium</i>	1,35	2,20	3,00
12. <i>Fusarium</i> sp.	1,10	2,40	2,95
13. Familia : <i>Elaphomycetaceae</i>	1,25	2,25	2,90
14. <i>Aureobasidium</i> sp.	0,60	1,55	1,90

Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Subowo (2015), menggunakan jamur *Aspergillus niger* dan *Penicillium* sp. untuk mengurai senyawa lignin dan menunjukkan hasil dimana kedua jamur tersebut memiliki kemampuan yang tinggi dalam mengurai lignin. Menurut Subowo dan Corazon (2010), jenis jamur *Aspergillus* sp. memiliki kemampuan mendegradasi senyawa lignin lebih tinggi dibandingkan dengan jamur *Penicillium* sp. Dalam penelitian ini, juga diperoleh hasil yang sama, yaitu kemampuan *Aspergillus niger* dalam mendegradasi lignin lebih besar dibanding *Penicillium* sp. Meskipun demikian, *Penicillium* sp. tetap memiliki kemampuan degradasi lignin yang lebih baik jika dibandingkan dengan jenis jamur lainnya yang diperoleh pada penelitian ini. *Penicillium* sp. memiliki kemampuan degradasi lignin karena jamur ini juga menghasilkan enzim ligninase (Yang *et al.*, 2005). Jamur *Aspergillus* sp. lainnya meskipun tidak memiliki kemampuan degradasi lignin sebaik *Aspergillus niger*, namun jamur ini juga dapat mendegradasi lignin karena mampu melakukan metabolisme lignin sebagai sumber karbonnya (Bett dan Dart, 1998).



**Gambar 3.** Zona bening isolat jamur pada hari ke-3 (A) *Aspergillus niger* mempunyai zona bening terbesar (B) *Aureobasidium* sp. mempunyai zona bening terkecil

Proses biodelignifikasi melibatkan berbagai enzim ekstraseluler yang disekresi oleh jamur yaitu lignin peroxidases, manganese peroxidases, versatile peroxidases dan laccases. Laccase merupakan enzim yang mengawali proses oksidasi pada tahapan awal degradasi lignin (Pollegioni. L, 2015). Jamur-jamur selain genera *Aspergillus* dan *Penicillium* dapat mendegradasi lignin (lihat Tabel 2.), namun dalam tingkat yang rendah. Jamur yang tergolong dalam kelompok Ascomycetes yang diperoleh dalam penelitian ini, yaitu jamur *Byssochlamys* sp., *Monascus* sp. dan *Trichoderma harzianum* diketahui juga memiliki enzim laccase (Sadhasivam *et al.*, 2008). Pada hasil penelitian diketahui bahwa jamur *Aureobasidium* sp. adalah jamur yang memiliki kemampuan paling rendah (diameter zona bening hanya mencapai 1,9cm) dalam mendegradasi lignin (Tabel 2 dan Gambar 3).

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh 14 isolat jamur yang dapat mendegradasi lignin. Ke 14 isolat jamur tersebut tergolong kedalam Divisi *Ascomycota*. Isolate-isolat jamur yang menunjukkan kemampuan biodelignifikasi cukup besar, tergolong dalam familia *Trichocomaceae*. Di antar ke 14 isolat tersebut, jamur *Aspergillus niger* merupakan jamur yang paling tinggi kemampuan biodelignifikasinya dengan diameter zona bening sebesar 6,45cm (hari ke-7) sedangkan jamur *Aureobasidium* sp. adalah jamur yang paling rendah kemampuan biodelignifikasinya dengan diameter zona bening 1,9cm (hari ke-7).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulla HM. 2007. Enhancement of Rice Straw Composting by *Lignocellulolytic Actinomycetes* Strains. Int.J. of Agriculture & Biology. Vol. 9(1), 106-109.
- Adlini NI. 2014. Seleksi Mikroba Selulolitik dalam Mendegradasi Lignin Asal Tanah Gambut Desa Rimbo Panjang Kampar Riau. [Skripsi]. Jurusan Biologi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Riau.
- Artiningsih T. 2006., Aktivitas Ligninolitik Jenis *Ganoderma* pada Berbagai Sumber Karbon. Jurnal Biodiversitas, Vol 7, No 4 : 307-311. Balai Penelitian Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bogor

- Berts WB, Dart RK. 1998. The degradation of lignin-related compounds by *Aspergillus flavus*. *Journal of General Microbiol.* 134: 2413-2420.
- Bessey EA. 1950. *Morphology and Taxonomy of Fungi* (1<sup>st</sup> ed). New Delhi: Vikas Publishing House PVT Ltd.
- Dey S, Maiti TK, Bhattacharyya BC. 1994. Production of extracellular enzymes by a lignin peroxidase-producing brown rot fungus, *Polyporus ostreiformis*, and its comparative abilities for lignin degradation and dye decolorization. *Applied and Environmental Microbiology*, 60 : 4216-4218.
- Fengel D, Wegener G. 1989. *Kayu : Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi*. [Terjemahan]. Jogjakarta : H. Sastrohamidjojo. Gadjah Mada University Press.
- Hawksworth DL, Kirk PM, Sutton BC, Pelger DN. 1995. *Ainsworth and Bisby's Dictionary of Fungi*.
- Howard RL, Abotsi EJ, van Rensburg EL, Howard S. 2003. Lignocellulose biotechnology: issue of bioconservation and enzyme production. *African Journal of Biotechnology*, 2: 602-619.
- Klamer M, Baath E. 1998. Microbial community dynamics during compositing of straw material studied using phospholipid fatty acid analysis. *FEMS Microbiol. Ecol.* 27: 9-20.
- Lakshmikanth. 1990. Cellulose degradation and cellulose activity of five cellulolytic fungi. *World J Microbiol Biotechnol* 6 (1): 64-66.
- Moreira MT, Viacava C, Vidal G. 2004. Fed-batch decolorization of poly R-478 by *Trametes versicolor*. *Brazilian Archives of biology and technology* 47(2), 179-183.
- Orth AB, Royle DJ, Tien M. 1994. Ubiquity of lignin peroxidase among various wood-degradation fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 59(12): 4017-4023.
- Parthasarathi R, Romero RA, Redondo A, Gnanakaran S. 2011. Theoretical Study of The Remarkably Diverse Linkages in Lignin. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2: 2660-2666.
- Pollegioni L, Tonin F, Rosini E. 2015. Lignin-degrading Enzymes. [Internet]. [cited 18 August 2017]. Available from : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25649492>.
- Roy BP, Archibald F. 1993. Effect of kraft pulp and lignin on *Trametes versicolor* carbon metabolism. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:1855-1863.
- Sadhasivams S, Savitha S, Swaminathan K, Lin FH. 2008. Production, purification and characterization of mid-redox potential laccase from a newly isolated *Trichoderma harzianum* WL1. *Process Biochemistry* 43, 736-742.
- Schlegel HS, Schmidt K. 1984. *Mikrobiologi Umum*. Ed. Ke 6. Terjemahan Tedjo Baskoro. Gadjah Mada University Press, Jogjakarta
- Silawati, O. 2013. Pembuatan Slide Culture [Internet]. [cited 25 May 2017]. Available from : <https://www.scribd.com/doc/191394145/SLIDE-KULTUR-docx>.
- Steffen KT. 2003. Degradation of recalcitrant biopolymers and polycyclic aromatic hydrocarbons by litter decomposing basidiomycetous fungi. [Desertasi]. Helsinki : Division of Microbiology Viikki Biocenter, university of Helsinki.
- Subowo YB, Corazon. 2010. Seleksi Jamur Tanah Pengurai Lignin dan PAH dari Beberapa Lingkungan di Bali. *Jurnal Berita Biologi* 10(2). Bidang Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bogor.
- Subowo YB. 2015. *Pengujian aktifitas jamur Penicillium sp. R7,5 dan Aspergillus niger NK pada media tumbuh untuk mendukung pertumbuhan tanaman padi di lahan salin*. *Jurnal PROS SEM NAS MASY BIODIV INDOS*, Vol 1, No 5. Bidang Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bogor
- Subowo YB. 2009. Isolasi dan Seleksi Jamur Aphylophorales Pengurai Lignin di Hutan Bukit Bangkirai, Kalimantan Timur. *Jurnal Berita Biologi*, Vol 9, No 6. Bidang Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bogor.
- Tien M, Kirk TK. 1983. Lignin degrading enzyme from hymenomycete *Phanerochaete chrysosporium* burds. *Science*. 221:661-663.
- Vanholme R, Demedts B, Morreel K, Ralph J, Boerjan W. 2010. Lignin Biosynthesis and Structure. [Internet]. [cited 18 August 2017]. Available from : [www.plantphysiol.org/content/153/3/895](http://www.plantphysiol.org/content/153/3/895).
- Yang JS, Yuan HL, Wang HX and Chen WX. 2005. Purification and characterization of lignin peroxidases from *Penicillium decumbens* P6. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 21, 435-440.
- Yuleli. 2009. Penggunaan Beberapa Jenis Fungi untuk Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis*) di Tanah Gambut. [Tesis]. Universitas Sumatera Utara, Sekolah Pascasarjana. Program Studi Biologi.