

Isolasi dan Karakterisasi Jamur Indigenous dan Potensinya untuk Biodelignifikasi*Isolation and Characterization Indigenous Fungi and its Potential for Biodelignification***Ina Darliana^{1*}, Sri Wilujeng²**¹Fakultas Kehutanan, Universitas Winaya Mukti

Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.29 Tanjungsari-Sumedang, Jawa Barat, 45362, (022)87918051

*Penulis untuk korespondensi : ¹inadarliana2@gmail.com, ²sriwilujeng2206@gmail.com

Diterima 19 Oktober 2020 / Disetujui 26 Oktober 2020

ABSTRACT

*Biodelignification is a preliminary process of removing lignin from lignocellulosic materials using microorganisms. In the textile industry, the enzymes produced by fungi are used to degrade synthetic dyes in waste, soil bioremediation, biodegradation of phenol pollutants in the environment, and pulp and paper processing. (Mosier. Et al., 2005). Indigenous fungi are fungi that have the ability to degrade organic compounds and make them a source of nutrients for metabolism and life (Raju, et al., 2007). Fungi were chosen as one of the organisms for Biodelignification because they are able to degrade toxic components by means of transformation, namely changing the hazardous chemicals that are formed in the soil (Sullia, 2000). Fungi can survive in various environments on different media including soil. Wastes with various organic compounds are difficult to degrade due to their polymer shape, and only a small amount can be hydrolyzed due to their composite and complex structure. Some indigenous fungi that live in the soil have the ability to break down various organic compounds including lignin and cellulose. This fungus produces ligninase, which is an enzyme that can break down lignin and cellulase compounds (Yang et al., 2005, Guang et al., 2006). This research was conducted to obtain fungal isolates that have the ability to degrade lignin. Isolation is taken from soil sources contaminated with textile waste, isolated using lignin selective media with tannic acid as the sole C source. The method used in this research is descriptive exploration method in field sampling and experimental method for laboratory observations, namely the isolation and culture of fungi by dilution method, then identification of fungal genus is carried out by the Moist Chamber method, while the properties and morphology are described descriptively based on literature guide Introduction To Food-Borne Fungi (Samson et al., 1995). The results obtained 11 isolates of fungi that have ligninolytic abilities. Genus *Aspergillus*, sp. has the highest ligninolytic ability by producing a clear zone diameter of 3.45 cm on the 3rd day.*

Keywords : Indigenous Fungi, Soil, Biodelignification

ABSTRAK

Biodelignifikasi adalah suatu proses pendahuluan penghilangan lignin pada material berlignoselulosa menggunakan mikroorganisme. Pada industri tekstil, enzim yang dihasilkan jamur dimanfaatkan untuk mendegradasi pewarna sintetik yang terdapat pada limbah, bioremediasi tanah, biodegradasi polutan fenol di lingkungan, serta pengolahan pulp dan kertas. (Mosier. Et al., 2005). Jamur Indigenous adalah jamur yang memiliki kemampuan mendegradasi senyawa organik dan menjadikannya sebagai sumber nutrisi untuk metabolisme dan kehidupannya (Raju, et al., 2007). Jamur dipilih sebagai salah satu organisme untuk Biodelignifikasi karena mampu mendegradasi komponen yang bersifat toksik dengan cara transformasi yaitu mengubah bahan kimia berbahaya yang terbentuk pada tanah (Sullia, 2000). Jamur dapat bertahan hidup di berbagai lingkungan pada media yang berbeda termasuk tanah. Limbah dengan berbagai kandungan senyawa organik sulit terdegradasi karena bentuk polimernya, dan hanya sedikit yang dapat dihidrolisis karena struktur komposit dan kompleksnya. Beberapa jamur indigenous yang hidup dalam tanah mempunyai kemampuan untuk menguraikan berbagai senyawa organik diantaranya lignin dan selulosa. Jamur ini menghasilkan ligninase, yaitu enzim yang dapat menguraikan senyawa lignin dan selulase (Yang et al., 2005, Guang et al., 2006). Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan isolat jamur yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi lignin. Isolasi diambil dari sumber tanah yang tercemar limbah tekstil, diisolasi menggunakan media selektif lignin dengan asam tanat sebagai sumber C tunggal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksplorasi deskriptif dalam pengambilan sampel di lapangan dan metode eksperimen untuk pengamatan di laboratorium yaitu isolasi dan pengkulturan jamur dilakukan dengan metode pengenceran, kemudian identifikasi genus jamur dilakukan dengan metode Moist Chamber, sedangkan sifat serta morfologinya dijelaskan secara deskriptif berdasarkan petunjuk literature Introduction To Food-Borne Fungi (Samson et al., 1995). Hasil Penelitian

diperoleh 11 isolat jamur yang memiliki kemampuan ligninolitik. Genus *Aspergillus*, sp. memiliki kemampuan ligninolitik tertinggi dengan menghasilkan diameter zona bening 3,45 cm pada hari ke-3.

Kata Kunci : Jamur *Indigenous*, Tanah , Biodelignifikasi

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 yang ada didalam tanah atau hidup melekat pada organisme lain. Jamur memiliki kemampuan dan fungsi yang berbeda-beda sesuai dengan lingkungan yang ditinggalinya. Beberapa jamur yang hidup dalam tanah mempunyai kemampuan untuk menguraikan senyawa lignin dan selulosa. Jamur ini menghasilkan ligninase, yaitu enzim yang dapat menguraikan senyawa lignin (Yang *et al.*, 2005, Guang *et al.*, 2006). Fungsi jamur dalam tanah cukup penting karena dapat menjaga ketersediaan unsur karbon (C) sebagai sumber energi untuk konsumsinya sendiri maupun organisme lain. Sisa tumbuhan yang mengandung lignin, selulosa dan hemiselulosa akan diuraikan oleh jamur tanah menjadi polisakarida, oligosakarida dan monosakarida. Senyawa-senyawa ini merupakan sumber energi bagi mikroba tanah (Pidwirny, 2009).

Substansi kayu yang tidak mudah diuraikan yaitu lignin. Lignin adalah penyusun jaringan tumbuhan selain selulosa dan hemiselulosa. Senyawa ini merupakan polimer aromatik dari phenilpropanoid, hasil sintesa coniferyl, synapyl, p-coumaryl alkohol (Vanholme *et al.*, 2010). Fungsi dari lignin untuk memberi kekakuan pada jaringan pengangkut tumbuhan dan melindungi struktur yang tersusun dari polisakarida (selulosa dan hemiselulosa) dari serangan organisme lain sehingga lignin bersifat rekalsitran (Parthasarathi *et al.*, 2011). Jamur menguraikan lignin melalui proses oksidasi menggunakan enzim phenol oksidase menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga dapat diserap oleh mikroorganisme. (Sanchez, 2009). Lignin yang terkandung dalam tumbuhan sebesar 30% yang menyebabkan tumbuhan kuat terhadap serangan berbagai mikroorganisme (Steffen, 2003). 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.

Mikroba yang memiliki aktivitas lignoselulolitik diketahui merupakan mikroba dari golongan bakteri dan jamur (Choirunnisa *et al.*, 2017). Mikroba yang paling aktif dalam mendegradasi lignin adalah jamur (Prenafeta-Boldú

et al. 2018). Jamur *indigenous* diharapkan tidak mati jika diberi perlakuan pada media yang mengandung lignin, isolat ini diasumsikan telah teradaptasi oleh kondisi tanah yang mengandung lignin dan senyawa organik lainnya yang berasal dari limbah tekstil. Enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh jamur menyebabkan jamur dapat bertahan terhadap paparan bahan kimia yang bersifat toksik atau mutagenik (Subowo, 2009).

Teknik biodelignifikasi menggunakan agen biologis jamur merupakan salah satu teknik degradasi lignin yang ramah lingkungan. Jamur yang digunakan merupakan jamur *indigenous* yang di isolasi dari tanah yang tercemar limbah tekstil, jamur ini menghasilkan enzim ligninolitik yang dapat mendegradasi lignin. Teknik ini tergolong lebih murah dibandingkan dengan pemakaian teknik sulfat dalam skala industri. Kemampuan jamur *indigenous* dalam degradasi juga dapat dikembangkan melalui proses bioteknologi untuk degradasi polimer kompleks, contohnya senyawa xenobiotic, pengurangan warna *effluent* dan *biobleaching* dari *kraft pulp*, pengolahan limbah seperti limbah tekstil dan hidrokarbon (Mossier. *et al.* 2005).

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.

BAHAN DAN METODE

Sampel tanah yang berasal dari tanah yang tercemar limbah pabrik tekstil diambil sebanyak 1 gram diencerkan dengan 9 ml NaCl fisiologis steril hingga pengenceran ke enam. Isolasi jamur dilakukan dengan menuangkan 1 ml sampel dari pengenceran 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} ke dalam cawan petri yang telah berisi medium selektif lignin dengan komposisi 1,5% *malt extract*, 0,5% asam tannin dan 2% agar, kemudian dicampurkan hingga homogen dengan cara memutar cawan petri secara perlahan di atas meja. Setiap pengenceran dilakukan pengulangan sebanyak 3x. Setelah beku, cawan

petri kemudian dibalik agar air kondensasi tidak jatuh ke atas agar karena permukaan agar harus kering. Semua cawan petri kemudian dibungkus dengan kertas dan disimpan pada suhu kamar selama 3-7 hari. Kemudian, dilakukan pemurnian isolat jamur dengan menggunakan medium Potato Dextrose Agar (PDA). Koloni-koloni jamur yang tumbuh dalam cawan petri diisolasi untuk setiap koloni yang berbeda.

Karakterisasi jamur dilakukan dengan Metode *Moist chamber* dengan menggunakan buku acuan *An Introduction to Food Borne Fungi* dan *The Genera Hypomycetes from Soil*. Metode ini dilakukan secara aseptis dan dilakukan dalam cawan petri. PDA diteteskan keatas kaca objek, setelah beku dipotong setengah dan salah satu bagian yang terpotongnya dibuang, sisi yang tersisa biarkan diatas kaca objek. Selanjutnya secara aseptis mikrofungi yang murni diambil sporanya dan ditempelkan ke sisi agar yang tersisa diatas kaca objek. Setelah itu pada masing-masing sudut kaca penutup diberi vaselin dan kaca penutup tersebut ditutupkan diatas agar yang tersisa tersebut. Diinkubasi selama 72 jam, lalu hasil diamati dibawah mikroskop dan menggunakan buku acuan diamati morfologinya.

Metode Titik untuk skrining jamur *indigenous* asal tanah, agar yang mengandung tanah dituang kedalam cawan petri sebanyak 10ml dan ditunggu hingga membeku. Lalu, mikrofungi yang telah teridentifikasi kembali diambil sporanya secara aseptis dan ditikkan keatas permukaan PDA yang telah membeku dalam cawan petri. Diinkubasi selama 72 jam, setelah itu diamati pertumbuhan koloninya.



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.








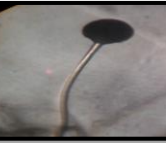

Hasil isolasi dari berbagai sumber, diperoleh 11 isolat jamur yang dapat tumbuh pada medium yang mengandung lignin, kemudian diidentifikasi berdasarkan morfologinya. Dari hasil identifikasi, ke 11 isolat jamur tersebut tergolong dalam genus *Aspergillus*, *Fusarium*, *Monilia*, *Mucor*, *Penicillium*, dan *Rhizopus*. Menurut Adlini (2014), *Penicillium* sp. *Trichoderma* sp. dan *Aspergillus* sp. merupakan jenis jamur yang kebanyakan dapat tumbuh pada media yang mengandung lignin. Menurut Yuleli (2009), 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. Hasil identifikasi ke 11 isolat jamur termasuk kedalam Divisi *Ascomycota* tetapi tergolong dalam Famili yang berbeda-beda. Jamur dari genus *Aspergillus* sp. dan *Penicillium* sp. 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 dengan kemampuan yang berbeda-beda tergantung spesies jamur masing-masing (Sadhasivam *et al.*, 2008). Kemampuan mendegradasi lignin akan sangat membantu mengembalikan unsur C yang ada dalam kebanyakan bahan organik, sehingga membantu menyediakan kebutuhan hara tumbuhan (Yuleli, 2009). Skrining untuk aktivitas masing-masing isolat dalam biodelignifikasi dapat diuji dengan menumbuhkan isolat jamur pada medium yang mengandung lignin.

Hasil identifikasi dan karakterisasi masing-masing isolat jamur yang berpotensi untuk Biodelignifikasi dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini :

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil identifikasi isolat jamur pendegradasi lignin

No	Gambar	Identitas	No	Gambar	Identitas
1		<i>Aspergillus</i> sp1 Koloni berwarna coklat kehitaman sebagai tempat dihasilkannya askospora Divisi : Ascomycota Family : Moniliaceae	7		<i>Monilia</i> sp1 Koloni berwarna kuning pekat. hifa berseptata Divisi : Ascomycota Family : Moniliaceae

2		<i>Aspergillus sp1</i> Koloni berwarna coklat kehitaman sebagai tempat dihasilkannya askospora Divisi : Ascomycota Family : Moniliaceae	8		<i>Monilia sp2</i> Koloniberwarna kuning.hifa bersepta Divisi : Ascomycota Family : Moniliaceae
3		<i>Aspergillus sp3</i> Koloni berwarna coklat kehitaman sebagai tempat dihasilkannya askospora. Divisi : Ascomycota Family : Moniliaceae	9		<i>Penicillium sp1</i> Koloni berwarna abu-abu hifa memiliki septa Divisi : Eumycophyta Family : Aspergillaceae
4		<i>Aspergillus sp4</i> Koloni berwarna kuning kehijauan. hifa memiliki septa Divisi : Ascomycota Family : Moniliaceae	10		<i>Penicillium sp2</i> Koloni berwarna abu kehijauan hifa memiliki septa Divisi : Eumycophyta Family : Aspergillaceae
5		<i>Fusarium sp.</i> Koloni berwarna putih kecoklatan (<i>broken white</i>). memiliki multisepta. Divisi : Ascomycota Family : Moniliaceae	11		<i>Rhizopus sp.</i> Koloni berwarna coklat kehitaman. hifa tidak bersekat. Divisi : Zygomycota Family : Moniliaceae
6		<i>Mucor sp</i> Koloni berwarna abu-abu hingga coklat tidak memiliki apophysis sehingga spora tampak menyebar. Divisi : Zygomycota Family : Mucoraceae			

Aktivitas biodelignifikasi dapat dilihat dengan mengamati. 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 pengamatan, seluruh jenis jamur dapat tumbuh pada hari ke- 3 dengan diameter zona bening yang berbeda-beda. Jamur merupakan kelompok mikroorganisme yang mempunyai kemampuan dalam degradasi bahan organik pada tahap awal, khususnya dalam pengomposan, yang juga di dalamnya terkandung senyawa lignin (Subowo & Corazon 2010),. Hasil skrining dengan metode titik, terlihat kemampuan isolat jamur yang paling besar dalam mendegradasi senyawa lignin adalah jamur dari genus *Aspergillus sp.* dengan

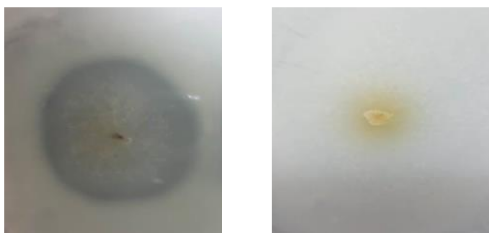
ukuran diameter zona bening terbesar yaitu pada hari ke-3 mencapai ukuran diameter 3,45 cm (Gambar.1).

Jamur dari genus *Aspergillus sp.* diketahui banyak dimanfaatkan oleh berbagai penelitian dalam mendegradasi limbah yang mengandung senyawa organik tinggi diantaranya lignin. Jamur *Aspergillus sp.* mengeluarkan enzim ekstraseluler yang digunakan untuk mendegradasi lignin menjadi senyawa karbon sederhana yang dapat digunakan oleh berbagai jenis mikroba dalam tanah untuk sumber energi bagi kehidupannya dalam bentuk karbon.

Subowo (2015), menggunakan jamur *Aspergillus niger* dan *Penicillium sp.* Untuk mendegradasi 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. Hasil penelitian juga diperoleh hasil yang sama, yaitu kemampuan *Aspergillus* sp. 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).

Zona bening isolat jamur *Aspergillus niger* pada hari ke3 mempunyai zona bening terbesar dibanding isolat jamur *Penicillium*



Gambar 1. Zona bening Isolat *Aspergillus* dan *Penicillium*

Proses biodelignifikasi melibatkan berbagai enzim ekstraseluler yang disekresi oleh jamur yang diisolasi dari tanah yaitu lignin peroxidases, manganese peroxidases, versatile peroxidases dan laccase. Laccase merupakan enzim yang mengawali proses oksidasi pada tahapan awal degradasi lignin (Pollegioni. L, 2015).

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh 11 isolat jamur yang dapat mendegradasi lignin. Ke 11 isolat jamur tersebut tergolong kedalam Divisi *Ascomycota*. Isolat-isolat jamur yang menunjukkan kemampuan biodelignifikasi cukup besar, tergolong dalam familia *Trichocomaceae*. Di antara ke 11 isolat tersebut, jamur *Aspergillus niger* merupakan jamur yang paling tinggi kemampuan biodelignifikasinya dengan diameter zona bening sebesar 3,45cm (hari ke-3).

DAFTAR PUSTAKA

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.

Choirunnisa, Zul D, Pratiwi NW (2017) Formulasi mikroorganisme lignoselulolitik asal tanah gambut desa rimbo panjang , kampar sebagai bioaktivator bentuk padat. J Riau Biologia 2:90– 99

Guang Z, Y Hong, H Hong, H Dan, C Yao, H Guo and L Jian. 2006. Laccase activities of a soil fungus *Penicillium simplicissimum* in relation to lignin degradation. World Journal of Microbiology and Biotechnology 22 (4), 317-324.

Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y., Holtzapple, M., Ladisch, M. Feature of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology, 96(6), pp. 673-686, 2005.

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.

Pidwirny M. 2009. Carbon cycle, [http://www.eoearth.org/article/Carbon cycle](http://www.eoearth.org/article/Carbon%20cycle)

Pollegioni L, Tonin F, Rosini E. 2015. Lignin-degrading Enzymes. [Internet].[cited Desember 2019]. Available from : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25649492>.

Prenafeta-Boldú FX, de Hoog GS, Summerbell RC (2018) Fungal communities in hydrocarbon degradation. In: McGinity TJ (ed) Microbial communities utilizing hydrocarbons and lipids: Members, metagenomics and ecophysiology, handbook of hydrocarbon and lipid microbiology, Springer, Cham, pp 1- 36. doi: 10.1007/978-3-319-60063-5_8-2

Raju. N.S; G.V. Venkataramana, S.T. Girish,V.B. Raghavendra and P.Shivashankar. 2007. *Isolation and Evaluation of Indigenous Soil Fungi For Decolorization Of Textile Dyes*. Journal of Applied Sciences 7(2) : 298-301.

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.

Samson, R.A.; E.S. Hoekstra. ; J.C. Frisvad. and O. Filtenborg. (1995). Introduction To Food-Borne Fungi. Centraalbureau voor Schimmelcultures Baarn. Netherlands.

- Sanchez C. 2009. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances* 27, 185-194.
- 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.
- Sullia, S. B. 2000. Fungal Diversity and Bioremediation. Departemen of Microbiology & Biotechnology. Bangalore University, Bangalore
- Vanholme R, Demedts B, Morreel K, Ralph J, Boerjan W. 2010. Lignin Biosynthesis and Structure. www.plantphysiol.org/content/153/3/895.
- Yang JS, HL Yuan, HX Wang and WX Chen. 2005. Purification and characterization of lignin peroxidases from *Penicillium decumbens* P6. *World Journal of Microbiology and 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.