

Aktivitas Ligninolitik Jenis Ganoderma pada Berbagai Sumber Karbon

Ligninolytic Activity of Ganoderma strains on Different Carbon Sources

TYPUK ARTININGSIH*

Balai Penelitian Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bogor 16002.

Diterima: 18 Juli 2006. Disetujui: 13 September 2006.

ABSTRACT

Lignin is a phenylpropanoid polymers with only few carbon bonds might be hydrolized. Due to its complexity, lignin is particularly difficult to decompose. Ganoderma is one of white rot fungi capable of lignin degradation. The ligninolytic of several species Ganoderma growing under different carbon sources was studied under controlled conditions which *P. chrysosporium* was used as standard comparison.

Three types of ligninolytic, namely LiP, MnP, and laccase were assessed quantitatively and qualitatively. Ratio between clear zone and diameter of fungal colony was used for measuring specific activity qualitatively.

Four species of Ganoderma showed positive ligninolytic qualitatively that *G. lucidum* KT2-32 gave the highest ligninolytic. Activity of LiP and MnP in different carbon sources was consistently resulted by *G. lucidum* KT2-32, while the highest activity of laccase was shown by *G. ochrolaccatum* SA2-14. Medium of Indulin AT affected production of protein extracellular and induced ligninolytic. Glucose, BMC, and pine sawdust did not affect the activity of ligninolytic. The specific activity of Ganoderma species was found to be higher than the one of *P. chrysosporium*.

© 2006 Jurusan Biologi FMIPA UNS Surakarta

Key words: ligninolytic, Ganoderma, carbon sources.

PENDAHULUAN

Lignin adalah suatu polimer yang terdiri dari unit-unit fenilpropana dengan sedikit ikatan yang dapat dihidrolisis. Seringkali lignin disebut pula sebagai substansi kerak, karena kaku. Lignin melindungi selulosa dan bersifat tahan terhadap hidrolisis karena adanya ikatan arilalkil dan ester. Karena struktur senyawa kompleks dan bersifat kaku, maka secara alamiah lignin sukar didekomposisi dan hanya sedikit mikroorganisme yang mampu mendegradasinya.

Jamur yang bersifat ligninolitik umumnya berasal dari kelompok jamur busuk putih (*white rot fungi*) yang tergolong Basidiomycetes. Jamur ini banyak didapatkan hidup pada kayu-kayuan atau substrat organik lainnya. Jamur perombak kayu yang banyak dilaporkan dapat memecah lignin, antara lain *Phanerochaete chrysosporium* (Tien dan Kirk, 1983), *Trametes versicolor* (Roy dan Archibald, 1993), dan *Polyporus anceps* (Fengel dan Wagnere, 1989).

Menurut Crawford dkk. (1983) proses degradasi lignin oleh jamur busuk putih merupakan proses oksidasi. Kemampuan jamur busuk putih dalam mendegradasi lignin disebabkan oleh aktivitas ekstraselular ligninolitik. Enzim yang berperan dalam proses degradasi terdiri dari tiga jenis enzim, yaitu lignin peroksidase (LiP), mangan peroksidase (MnP), dan lakase. Harvey dkk. (1996) menyebutkan bahwa LiP mengkatalisis proses oksidasi sebuah elektron

dari cincin aromatik lignin dan akhirnya membentuk kation-kation radikal. Senyawa-senyawa radikal ini, secara spontan atau bertahap akan melepaskan ikatan antarmolekul dan beberapa diantaranya akan melepaskan inti pada cincin aromatik. Enzim MnP mengoksidasi Mn^{2+} menjadi Mn^{3+} dan H_2O_2 sebagai katalis untuk menghasilkan gugus peroksida (Camarero dkk., 1996). Mn^{3+} yang dihasilkan dapat berdifusi ke dalam substrat dan mengaktifkan proses oksidasi. Hal ini didukung pula oleh aktivitas kation radikal dari veratril alkohol dan enzim penghasil H_2O_2 . Proses ini akan diakhiri dengan bergabungnya O_2 ke dalam struktur lignin (de Jong dkk., 1994). Lakase berperan melalui oksidasi gugus fenol menjadi kuinon (Arora dan Sandhu, 1985). Ishihara (1980) menyatakan bahwa lakase adalah enzim pengoksidasi melalui proses dimetilasi yang akan mengubah gugus metoksi menjadi metanol.

Untuk menghasilkan enzim ligninolitik yang tinggi, diperlukan lignin (Indulin AT) dan senyawa fenolik (asam tanat, asam galat, dan resorsinol). Gula (D-glukosa, sorbitol, dan sukrosa) lebih diperlukan untuk pembentukan biomassa jamur daripada produksi enzim ligninolitik (Arora dan Sandhu, 1985). Menurut Leisola dkk. (1987, dalam Arora dkk. 1991) aktivitas ligninolitik *P. chrysosporium* lebih dipengaruhi oleh sumber karbon daripada sumber nitrogen.

Ganoderma applanatum dilaporkan mempunyai potensi untuk mendegradasi lignin (Schlegel dan Schmidt, 1994). Jamur ini tergolong dalam Ganodermataceae, Aphyllophorales, Basidiomycetes, dan Basidiomycota (Hawksworth dkk. 1995). Jamur perombak kayu ini banyak ditemukan di Kalimantan Tengah. Tubuh buah jamur ini keras seperti kayu dan menempel pada batang tanaman. Aribowo (1996) memberikan indikasi melalui pengujian

* Alamat Korespondensi:

Juanda 18, Bogor 16122

Email: tartinin@hotmail.com

Tel.: +62-251-324006. Fax: +62-251-325854

kualitatif bahwa beberapa jenis *Ganoderma* dapat menghasilkan enzim fenol oksidase. Penelitian ini bertujuan untuk menetapkan aktivitas ligninolitik (LiP, MnP, dan lakase) secara kualitatif maupun kuantitatif dari beberapa jenis *Ganoderma* sp yang ditumbuhkan pada media sintetik yang mengandung berbagai sumber karbon.

BAHAN DAN METODE

Jamur Ganoderma

Jamur yang digunakan pada penelitian ini adalah enam jenis *Ganoderma* yaitu *G. applanatum* SA1-24, *G. australe* SA3-60, *G. tropicum* SA2-26, *G. lucidum* KT2-52, *G. ochrolaccatum* SA2-14, dan *G. mastoporium* KT1-64, yang diperoleh dari Kalimantan Tengah. *Phanerochaete chrysosporium* Pc2804 digunakan sebagai jenis pembanding dalam aktivitas ligninolitik. Jenis jamur tersebut merupakan koleksi dari penulis. Sebelum aktivitas ligninolitik ditetapkan secara kuantitatif, jamur-jamur tersebut terlebih dulu diuji secara kualitatif, menurut metode Glenn dan Gold (1983).

Media

Media yang digunakan untuk peremajaan, pemeliharaan, dan penetapan waktu inkubasi yaitu ekstrak malt pepton (EMP). Media dasar Glenn dan Gold digunakan untuk menyiapkan sumber enzim dengan sumber karbon yang berbeda-beda. Sumber karbon yang digunakan adalah glukosa, *Ball Milled Cellulose* (BMC), serbuk kayu akasia dan lignin murni (Indulin AT). Konsentrasi masing-masing sumber karbon yaitu 2% (b/v). BMC disiapkan dari potongan-potongan kertas saring Whatman No. 1 sebesar 0,5 mm yang direndam dalam 500 ml akuades, dan kemudian dihancurkan dalam *Ball-Mill* selama 5 hari pada suhu 4°C. Media dasar Glenn dan Gold dibuat dengan penambahan Poly R-478 sebanyak 0.02 % (b/v).

Penetapan waktu inkubasi dan enzim supernatan

Biakan inokulum yang ditumbuhkan pada media agar (1x1) cm ditanam ke dalam media EMP, kemudian diinkubasi pada suhu ruang. Selanjutnya pertumbuhan miselia jamur diamati setiap hari selama 21 hari. Diameter miselia tertinggi dari masing-masing jamur selama inkubasi menunjukkan periode inkubasi optimum untuk persiapan sumber enzim.

Inokulum (1x1 cm) ditumbuhkan pada 15 ml media dasar Glenn dan Gold dengan penambahan masing-masing sumber karbon dalam erlenmeyer. Inkubasi dilakukan pada suhu kamar di atas mesin pengocok resiprokal pada kecepatan 95 rpm. Setelah 8 sampai 12 hari inkubasi, biakan disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm, suhu 4°C selama 15 menit untuk memperoleh supernatan enzim. Supernatan enzim digunakan untuk penetapan aktivitas LiP, MnP, dan lakase, serta penetapan kadar protein ekstraselular.

Penetapan aktivitas ligninolitik secara kualitatif

Inokulum sebesar 1x1 cm dipindahkan secara aseptik ke media Glenn dan Gold kemudian diinkubasi pada suhu 30°C. Pengukuran diameter koloni dan zona terang yang dibentuk oleh setiap jenis jamur dilakukan setiap hari selama 21 hari. Aktivitas ligninolitik secara kualitatif

dinyatakan sebagai aktivitas relatif (%) yaitu rasio antara diameter zona terang terhadap diameter koloni.

Penetapan aktivitas ligninolitik secara kuantitatif

Pengukuran produksi Lignin Peroksidase (LiP) dilakukan sesuai dengan metode Bonnen dkk. (1994). Sejumlah supernatan enzim (besarnya tergantung jenis sumber karbon asal enzim) ditambahkan ke dalam larutan penyangga tartrat (pH 2.5), sehingga jumlah campurannya mencapai 3 ml. Campuran ini kemudian ditambahkan 1 ml veratril alkohol 2 mM, dan 1 ml H₂O₂ 0.4 mM. Campuran tersebut selanjutnya dihomogenkan dan diinkubasi selama 15 menit pada suhu kamar. Jumlah veratraldehid yang terbentuk dibaca pada panjang gelombang 310 nm. Sedangkan pada kontrol, campuran tersebut langsung dididihkan pada suhu 60°C selama 5 menit. Aktivitas enzim dinyatakan dalam satuan unit yang setara dengan 1 unit enzim yang dihasilkan per menit dari perlakuan 1 ml enzim yang direaksikan dalam kondisi asai, sedang aktivitas spesifiknya dinyatakan dalam aktivitas enzim per mg protein.

Pengukuran Mangan Peroksida (MnP) dilakukan sesuai dengan metode Bonnen dkk. (1994). Sejumlah supernatan enzim ditambahkan ke dalam larutan penyangga sitrat fosfat (pH 5.5), sehingga jumlah campurannya mencapai 2 ml. Ke dalam campuran ini ditambahkan 1 ml guaiakol, 1 ml MnSO₄, dan 1 ml H₂O₂ 50 M, kemudian campuran dihomogenkan, dan diinkubasi selama 15 menit pada suhu kamar. Konsentrasi guaiakol dibaca pada panjang gelombang 465 nm. Sedangkan pada kontrol, campuran tersebut langsung dididihkan pada suhu 60°C selama 5 menit. Jumlah guaiakol yang hilang dihitung berdasarkan rumus Beer.

Aktivitas enzim dinyatakan dalam satuan unit dari hasil persamaan Beer. Satu unit aktivitas enzim setara dengan berkurangnya satu nmol guaiakol per menit dari perlakuan 1 ml enzim terhadap guaiakol dalam kondisi asai. Sedangkan aktivitas spesifiknya dinyatakan dalam aktivitas enzim per mg protein.

Pengukuran produksi lakase dilakukan pula sesuai dengan metode Bonnen dkk. (1994). Sejumlah supernatan ditambahkan ke dalam larutan penyangga sitrat fosfat (pH 6.0), sehingga jumlah campurannya mencapai 3 ml. Campuran ini kemudian ditambahkan 1 ml siringaldazin 0.075 mM. Setelah larutan homogen kemudian diinkubasi selama 15 menit pada suhu kamar. Konsentrasi siringaldazin yang hilang dibaca pada panjang gelombang 525 nm. Sedangkan pada kontrol, campuran tersebut tanpa diinkubasi dan langsung dididihkan pada suhu 60°C selama 5 menit.

Jumlah siringaldazin yang hilang dihitung sesuai persamaan Beer, dengan nilai konstanta untuk siringaldazin sebesar 65,000/M/cm. Aktivitas lakase dinyatakan dalam satuan unit yaitu satu nmol siringaldazin yang hilang per menit dari perlakuan 1 ml enzim terhadap siringaldazin dalam kondisi asai. Sedangkan aktivitas spesifiknya dinyatakan dalam aktivitas enzim per mg protein.

Penetapan kadar protein ekstraselular

Kadar protein ekstraselular ditetapkan menurut metode Lowry dkk. (1951). Nilai absorbansi dibaca pada panjang gelombang 640 nm. Bovine Serum Albumin (BSA) dengan konsentrasi 0.1 sampai 1.0 mg/ml dengan selang 0.1 mg/ml digunakan sebagai standar. Penetapan kadar protein ekstraselular digunakan untuk menghitung aktivitas spesifik masing-masing jenis jamur.

Pengujian statistika

Data pengukuran parameter darah diolah dengan menggunakan uji statistik menggunakan Analisis Sidik Ragam/Anova (Analysis of Variance).

HASIL DAN PEMBAHASAN

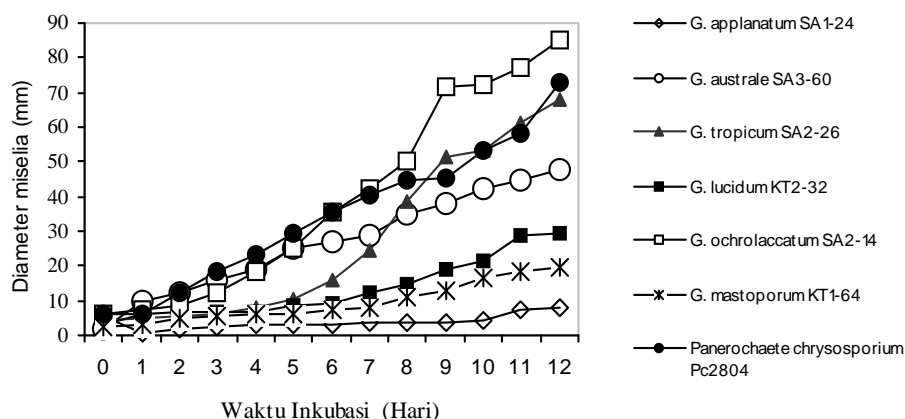
Pertumbuhan jamur pada media padat

Pertumbuhan diameter miselia dari jenis-jenis *Ganoderma* dan *P. chrysosporium* pada media EMP selama 12 hari menunjukkan laju pertumbuhan yang berbeda (Gambar 1). Beberapa jenis *Ganoderma* kecuali *G. ochrolaccatum* SA2-14 dan *G. tropicum* SA2-26 lebih lambat mencapai pertumbuhan maksimum daripada *P. chrysosporium*. Pada hari ke-12 inkubasi, koloni *G. ochrolaccatum* SA2-14 hampir memenuhi cawan petri (85.3 mm). Koloni *P. chrysosporium* baru memenuhi cawan pada hari ke-16 inkubasi. Jenis *Ganoderma* lainnya tidak pernah memenuhi cawan sampai hari ke-21 inkubasi.

Aktivitas ligninolitik kualitatif

Aktivitas kualitatif dihitung pada hari ke-7 inkubasi kemudian dibandingkan dengan *P. chrysosporium* (Tabel 1). Reaksi positif ditunjukkan oleh adanya perubahan warna pada media yaitu berwarna kuning atau kuning kemerahan dan merupakan petunjuk terjadinya degradasi polimer lignin. Sehingga dapat diduga enzim ligninolitik perombak Poly R-478 (polivinilamin sulfonat) diekspresikan oleh jenis-jenis tersebut. Hal ini sesuai dengan metode yang dikemukakan oleh Field dkk. (1992).

Diameter zona terang semua jenis *Ganoderma* lebih rendah dari *P. chrysosporium*. Perbedaan ini mulai terlihat pada hari ke-4 dan semakin nyata sampai hari ke-21 inkubasi. Diameter zona terang yang terbentuk menggambarkan tingkat aktivitas enzimnya (data tidak ditunjukkan). Diantara enam jenis *Ganoderma* yang diuji, hanya empat jenis yang bereaksi positif. Reaksi negatif ditunjukkan dengan tidak terbentuknya zona terang, seperti pada *G. australe* SA3-60 dan *G. tropicum* SA2-26. Pada hari ke-4 inkubasi, diameter zona terang terbesar ditunjukkan oleh *P. chrysosporium* sebesar 24.5 mm hingga hari ke-16 inkubasi mencapai maksimum yaitu 90.0 mm, diikuti berturut-turut oleh *G. lucidum* KT2-52, *G. mastoporum* KT1-64, *G. ochrolaccatum* SA2-14, dan *G. applanatum* SA1-24 (data tidak ditunjukkan). Diameter zona yang besar menunjukkan aktivitas ligninolitik total yang



Gambar 1. Laju pertumbuhan beberapa jenis *Ganoderma* dan *P. chrysosporium* pada media EMP.

tinggi.

Tabel 1. Aktivitas ligninolitik kualitatif pada hari ke 7 inkubasi.

Jamur	Rata-rata rasio (%)
<i>P. chrysosporium</i>	118 ^a
<i>G. lucidum</i> KT2-52	116 ^a
<i>G. mastoporum</i> KT1-64	108 ^b
<i>G. ochrolaccatum</i> SA2-14	85 ^c
<i>G. applanatum</i> SA1-24	17 ^d
<i>G. australe</i> SA3-60	0 ^d
<i>G. tropicum</i> SA2-26	0 ^d

Aktivitas kualitatif semua jenis *Ganoderma*, kecuali *G. lucidum* KT2-52, kurang dari *P. chrysosporium* dan tidak berbeda nyata terhadap *P. chrysosporium* ($p > 0.05$) (Tabel 1). Kemudian berturut-turut diikuti oleh *G. mastoporum* KT1-64, *G. ochrolaccatum* SA2-14, dan *G. applanatum* SA1-24 yang memiliki aktivitas sebesar 108, 85, dan 17%. *G. australe* SA3-60 dan *G. tropicum* SA2-26 tidak menunjukkan aktivitas kualitatif (nol).

Suatu jenis jamur dikatakan memiliki aktivitas enzim kualitatif yang tinggi bila jenis tersebut memiliki diameter koloni yang relatif kecil, tetapi menghasilkan diameter zona yang relatif besar. Artinya hanya dengan biomassa yang sedikit mampu menghasilkan enzim dengan aktivitas tinggi. *P. chrysosporium* memiliki aktivitas enzim yang tertinggi karena diameter koloninya lebih kecil daripada diameter zona. Dengan demikian, *P. chrysosporium* mampu menghasilkan enzim yang relatif tinggi pada tingkat pertumbuhan koloni yang relatif rendah, demikian pula dengan *G. lucidum* KT2-52. Hal ini tidak terjadi pada jenis *Ganoderma* lainnya karena zona atau aktivitas enzim yang dihasilkan tinggi dan disertai pertumbuhan koloni yang tinggi pula.

Aktivitas ligninolitik kuantitatif

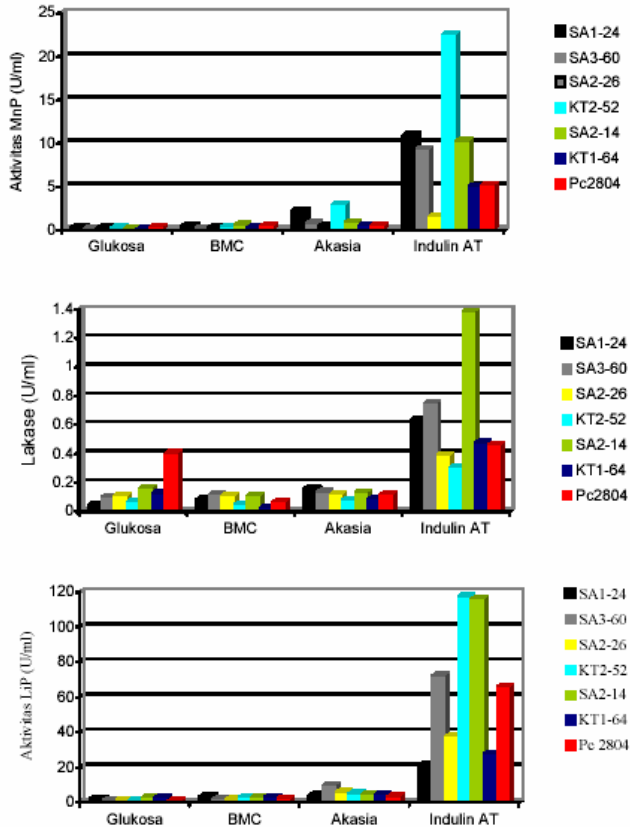
Aktivitas enzim

Sumber karbon mempengaruhi aktivitas LiP, MnP, dan lakase. Aktivitas ketiga enzim ini sangat tinggi jika jamur ditumbuhkan pada Indulin AT dan berbeda nyata dengan aktivitas enzim jamur-jamur yang ditumbuhkan pada media dengan sumber karbon lainnya. Pada media glukosa, BMC, atau serbuk kayu akasia, aktivitas LiP, MnP, dan lakase jamur-jamur tersebut rendah. Ketiga sumber karbon ini

kurang berpengaruh terhadap produksi enzim ligninolitik. Hanya Indulin AT yang dapat dipergunakan sebagai media penginduksi enzim ligninolitik (Gambar 2).

Pada media Indulin AT, *G. australe* SA3-60, *G. lucidum* KT2-52, dan *G. ochrolaccatum* SA2-14 menunjukkan aktivitas LiP yang lebih tinggi daripada *P. chrysosporium*, tetapi hanya *G. lucidum* KT2-52 dan *G. mastoporum* KT1-64 yang aktivitas

LiPnya berbeda nyata dari *P. Chrysosporium*. Hanya satu jenis yaitu *G. ochrolaccatum* SA2-14 yang memproduksi lakase sebesar 1.385 U/ml dengan aktivitas yang lebih tinggi dan berbeda nyata daripada *P. chrysosporium* (0.462 U/ml) (data tidak ditunjukkan).



Gambar 2. Aktivitas ligninolitik kuantitatif jenis-jenis *Ganoderma* pada berbagai sumber karbon

Menurut Arora dan Sandhu (1985), Indulin AT (0.1%) merupakan substansi fenolik yang terbaik untuk menginduksi lakase dari *Daedalea flavida*. Pengaruhnya akan semakin nyata jika Indulin AT dicampur dengan 2% malt ekstrak. Demikian pula untuk *Polyporus sanguinis* (Sandhu dan Arora, 1985).

Secara umum dapat dikatakan bahwa *G. lucidum* KT2-52 memiliki dua komponen enzim ligninolitik yaitu LiP dan MnP yang lebih tinggi daripada *P. chrysosporium*, sehingga jenis tersebut dapat dikembangkan lagi sebagai jenis penghasil dua enzim ligninolitik. *G. ochrolaccatum* SA2-14 memiliki kemampuan utama sebagai penghasil lakase dengan kemampuan penghasil LiP dan MnP yang relatif baik pula.

Aktivitas spesifik

Diantara jenis karbon, Indulin AT berpengaruh nyata terhadap produksi protein ekstraselular maupun aktivitas spesifiknya. Aktivitas ligninolitik terendah diperoleh apabila jamur tersebut ditumbuhkan pada glukosa (Tabel 2, 3, 4, dan 5). Glukosa mungkin dapat menghambat aktivitas ligninolitik. Arora & Sandhu (1985) menyatakan bahwa gula lebih berperan dalam pembentukan biomassa daripada produksi enzim.

Pada Indulin AT, aktivitas spesifik LiP dan MnP semua jenis *Ganoderma* lebih tinggi dari *P. chrysosporium* dan *G. lucidum* KT2-52 memiliki aktivitas yang tertinggi yaitu masing-masing sebesar 26.459 dan 51.754 U/mg serta

berbeda nyata dengan jamur lainnya. Sedangkan aktivitas spesifik lakase hampir semua jenis *Ganoderma*, kecuali *G. mastoporium* KT1-64, lebih tinggi dari *P. chrysosporium* (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa jamur tersebut menyukai lignin sebagai sumber karbon tunggal.

Tabel 2. Aktivitas spesifik ligninolitik beberapa jenis jamur pada media glukosa.

Jamur	Aktivitas enzim (U/mg)		
	LiP	MnP	Lakase
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> Pc2804	16.324 ^{bc}	0.487 ^d	0.062 ^c
<i>G. lucidum</i> KT2-52	10.049 ^d	0.360 ^d	0.089 ^{bc}
<i>G. mastoporium</i> KT1-64	5.872 ^d	0.459 ^d	0.145 ^{bc}
<i>G. australe</i> SA3-60	8.820 ^{cd}	0.479 ^d	0.267 ^{bc}
<i>G. tropicum</i> SA2-26	8.177 ^{cd}	0.468 ^d	0.107 ^{bc}
<i>G. ochrolaccatum</i> SA2-14	8.797 ^{cd}	0.360 ^d	0.066 ^c
<i>G. applanatum</i> SA1-24	4.512 ^d	0.275 ^d	0.064 ^c

Tabel 3. Aktivitas spesifik ligninolitik beberapa jenis jamur pada media BMC.

Jamur	Aktivitas enzim (U/mg)		
	LiP	MnP	Lakase
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> Pc2804	10.284 ^{cd}	1.109 ^d	0.172 ^{bc}
<i>G. lucidum</i> KT2-52	17.215 ^{bc}	1.665 ^d	0.299 ^{bc}
<i>G. mastoporium</i> KT1-64	7.653 ^d	1.511 ^d	0.158 ^{bc}
<i>G. australe</i> SA3-60	11.180 ^{cd}	0.973 ^d	0.574 ^{bc}
<i>G. tropicum</i> SA2-26	13.370 ^{cd}	0.468 ^d	0.339 ^{bc}
<i>G. ochrolaccatum</i> SA2-14	9.797 ^d	1.096 ^d	0.256 ^{bc}
<i>G. applanatum</i> SA1-24	7.512 ^d	1.751 ^d	0.356 ^{bc}

Tabel 4. Aktivitas spesifik ligninolitik beberapa jenis jamur pada media akasia.

Jamur	Aktivitas enzim (U/mg)		
	LiP	MnP	Lakase
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> Pc2804	12.456 ^{bc}	1.910 ^d	0.425 ^{bc}
<i>G. lucidum</i> KT2-52	20.959 ^b	13.944 ^{cd}	0.410 ^{bc}
<i>G. mastoporium</i> KT1-64	15.631 ^{ab}	4.979 ^{cd}	0.432 ^{bc}
<i>G. australe</i> SA3-60	12.358 ^{bc}	3.814 ^{cd}	0.949 ^{bc}
<i>G. tropicum</i> SA2-26	6.507 ^{cd}	1.357 ^d	0.502 ^{bc}
<i>G. ochrolaccatum</i> SA2-14	7.617 ^{cd}	2.047 ^d	0.600 ^{bc}
<i>G. applanatum</i> SA1-24	5.420 ^d	13.705 ^{bcd}	0.906 ^{bc}

Tabel 5. Aktivitas spesifik ligninolitik beberapa jenis jamur pada media Indulin AT.

Jamur	Aktivitas enzim (U/mg)		
	LiP	MnP	Lakase
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> Pc2804	18.324 ^{cd}	3.117 ^{cd}	0.285 ^{bc}
<i>G. lucidum</i> KT2-52	26.459 ^a	51.754 ^a	0.241 ^{bc}
<i>G. mastoporium</i> KT1-64	7.231 ^d	18.74 ^b	6.688 ^a
<i>G. australe</i> SA3-60	21.580 ^b	22.875 ^b	1.699 ^b
<i>G. tropicum</i> SA2-26	12.037 ^{cd}	5.570 ^{cd}	0.887 ^{bc}
<i>G. ochrolaccatum</i> SA2-14	9.797 ^d	17.975 ^{bc}	1.696 ^{bc}
<i>G. applanatum</i> SA1-24	7.512 ^d	13.133 ^{bcd}	0.977 ^{bc}

Hubungan aktivitas lignolitik kualitatif dan kuantitatif

Aktivitas lignolitik secara kualitatif tertinggi ditunjukkan oleh *P. Chrysosporium* (Tabel 1). Sedangkan aktivitas lignolitik kuantitatif pada berbagai sumber karbon yaitu aktivitas LiP dan MnP tertinggi cenderung ditunjukkan oleh *G. lucidum* KT2-52, dan aktivitas lakase tertinggi ditunjukkan oleh *G. ochrolaccatum* SA2-14 (Gambar 2).

Dilihat dari data hasil penelitian ini, aktivitas lignolitik kualitatif suatu jenis jamur tidak berhubungan dengan aktivitas kuantitatifnya. Oleh sebab itu penetapan aktivitas lignolitik secara kualitatif tidak dapat memberikan indikasi yang tepat mengenai kemampuan produksi enzim yang sebenarnya.

KESIMPULAN

Secara umum pertumbuhan maksimum *Ganoderma* pada media EMP dicapai pada 9-12 hari inkubasi. Pada penetapan aktivitas enzim secara kualitatif, hanya *G. applanatum* SA1-24, *G. lucidum* KT2-52, *G. australe* SA3-60, dan *G. ochrolaccatum* SA2-14 yang bereaksi positif dan aktivitas relatif tertinggi ditunjukkan oleh *G. lucidum* KT2-52.

Uji kuantitatif menunjukkan bahwa Indulin AT merupakan penginduksi produksi enzim lignolitik dan protein ekstraselular. Aktivitas LiP dan MnP tertinggi juga ditunjukkan oleh *G. lucidum* KT2-52. Aktivitas enzim-enzim ini lebih tinggi daripada aktivitas enzim *P. chrysosporium*. Aktivitas lakase tertinggi ditunjukkan oleh *G. ochrolaccatum* SA2-14. Aktivitas spesifik LiP, MnP, dan lakase semua jenis *Ganoderma* lebih tinggi daripada aktivitas spesifik enzim *P. chrysosporium*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, T. 1996. *Aktivitas lignolitik dan selulolitik Ganoderma spp. serta uji ketergantungan aktivitas lignolitiknya terhadap selulosa*. Skripsi. Jurusan Biologi FMIPA IPB, Bogor.
- Arora, D.S. & D.K. Sandhu. 1985. Laccase production and wood degradation by a white-rot fungus *Daedalea flavida*. *Enzyme Microb. Technol.* 7:405-408.
- Arora, D.K., B. Rai, K.G. Mukerji, & G.R. Knudsen. 1991. *Handbook of Applied Mycology. Volume 1: Soil and Plants*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Bonnen, A. M., L. H. Anton, & A. B. Orth. 1994. Lignin degrading enzymes of the commercial button mushroom, *Agaricus bisporus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 60:960-965.
- Camarero, S., B. Bockle, M.J. Martinez, & A.T. Martinez. 1996. Manganese mediated degradation by *Pleurotus pulmonarius*. *Appl. Environ. Microbiol.* 62:1070-1072
- Crawford, D.L., A.L. Pometto, & R.L. Crawford. 1983. Lignin degradation by *Streptomyces viridosporus*: Jenision and characterization of a new polymeric lignin degradation intermediate. *Appl. Environ. Microbiol.* 45(3):898-904.
- De Jong, J.A. Field, & J.A.M. de Bont. 1994. Aryl alcohols in the physiology of ligninolytic fungi. *FEMS Microbiol. Reviews.* 13:153-188.
- Fengel, D. & G. Wegener. 1989. *Kayu : Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi*. Terjemahan oleh H. Sastroamidjojo. Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Field, J.A., E.D. de Jong, G.F. Costa, J.A.M. de Bont. 1992. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by new jenises of white rot fungi. *Appl. Environ. Microbiol.* 58:2219-2226.
- Glenn, J.K. & M.H. Gold. 1983. Decolorization of several polymeric dyes by the lignin-degrading Basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 45:1741-1747.
- Harvey, P.J., G.F. Gilardi, M.L. Goble & J.M. Palmer. 1993. Charge transfer reactions and feedback control of lignin peroxidase by phenolic compounds: significance in lignin degradation. *J. Biotechnol.* 30:57-69.
- Hawksworth, D.L., P.M. Kirk, B.C. Sutton & D. N. Pelger. 1995. *Ainsworth and Bisby's Dictionary of Fungi*. Kew, Surey.
- Ishihara, T. 1980. The role of laccase in lignin biodegradation. *Microbiol. Chem. Poten. App.* 2:17-30.
- Lowry, O.H., N.J. Rosenbrough, A.L. Farr, & R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193:265-275.
- Roy, B.P. & F. Archibald. 1993. Effect of kraft pulp and lignin on *Trametes versicolor* carbon metabolism. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:1855-1863.
- Sandhu, D.K. & D.S. Arora. 1985. Laccase production by *Polyporus sanguineus* under different nutritional and environmental conditions. *Enzyme Microb. Technol.* 4:355-356.
- Schlegel, H.S. & K. Schmidt. 1984. *Mikrobiologi Umum*. Ed. Ke 6. Terjemahan Tedjo Baskoro. Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Tien, M. & T. K. Kirk. 1983. Lignin degrading enzyme from hymenomycete *Phanerochaete chrysosporium* burds. *Science.* 221:661-663.