

POTENSI KAPANG PELAPUK PUTIH *Phanerochaete chrysosporium* DALAM PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL

Yulinah Trihadiningrum

Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

ABSTRACT

Phanerochaete chrysosporium was known as white rot mold which could biodegrade persistent organic pollutants. In this research the ability of the mold in biodegrading textile dye direct orange S and rhemazol yellow, which contained naphthol functional group, was studied. This research included characterization of the waste water and determination of optimum concentration of the waste water for biodegradation. The optimum concentration for biodegradation was determined by measuring the radial growth of the mold in agar medium containing various concentrations of textile dye. The final stage was the application of the mold for biodegrading the textile dye in aerobic batch reactor using the selected concentration.

This research showed that *P. chrysosporium* could grow satisfactorily in minimum medium containing synthetic textile wastewater in various concentrations. The highest colour removal efficiency of 93% was achieved in 3 days in the waste water with highest color intensity (absorbance value $I_{520} = 4.00$), and 48% in the waste water with absorbance value $I_{520} = 1.22$. COD removal efficiency of 87% was achieved within 12 days in the wastewater of 30% concentration, and 83% in the waste water of 100% concentration. The pH values decreased to 3.23 in the waste water with lower dye concentration and to 3.42 in the higher color intensity, from the initial values of 5.0-6.0. This research concluded that *P. chrysosporium* was capable to biodegrade naphthol textile dye with reasonably high efficiency.

Key words: white rot mold, *P. chrysosporium*, biodegradation, waste water

PENGANTAR

Pengolahan limbah industri dengan pendekatan bioteknologi pada umumnya melibatkan mikroorganisme jenis bakteri yang mampu memproduksi enzim-enzim pengurai substrat organik. Sejak abad XX pengembangan bioteknologi lingkungan mutakhir mulai berorientasi pada pemanfaatan kapang, yang ternyata memiliki kemampuan tidak kalah dengan bakteri, bahkan mempunyai sifat yang lebih adaptif, karena mampu bertahan pada pH dan keaktifan air yang rendah. Selain itu kapang memiliki kelebihan membutuhkan N lebih sedikit dibandingkan bakteri.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kapang pelapuk putih *Phanerochaete chrysosporium* (kelas Basidiomycetes), mampu menguraikan klorolignin yang terdapat dalam limbah pulp (Huynh dkk., 1985; Prasad & Joyce, 1991; Pallerla & Chambers, 1995; Suhardi, 1997; Trihadiningrum dkk., 2000). Senyawa klorolignin dikenal sebagai senyawa toksik yang sulit diuraikan. Penelitian yang dilakukan oleh Kardenia & Sofyan (1997) membuktikan bahwa *P. chrysosporium* mendegradasi lignin hingga 75% dengan reaktor *Rotating Biological Contactor*. Sedangkan Suhardi (1998) melakukan studi yang membuktikan kapang pelapuk putih mampu menguraikan klorolignin hingga 51,6% pada reaktor *fluidised bed*.

Kemampuan *P. chrysosporium* dalam menguraikan klorolignin disebabkan oleh dimilikinya enzim dehalogenase, lignin peroksidase, dan manganese peroksidase (Tien dan Kirk, 1984; dalam Suhardi 1998). Dinyatakan lebih lanjut bahwa *P. chrysosporium* mampu menguraikan polutan-polutan organik bersifat persisten, seperti diklorofenol, dinitrotoluena, diklorobenzodioksin dan antrasen dengan gugus aromatik. Kemampuan ini berlatar belakang pada dimilikinya enzim-enzim peroksidase dan oksidase. Kemampuan biodegradasi jenis kapang ini telah diaplikasikan pada berbagai jenis senyawa yang terdapat dalam limbah pabrik pestisida, tekstil, serta pabrik pulp dan kertas (Trihadiningrum, 2001). Berdasarkan informasi ini, akan diteliti kemampuan *P. chrysosporium* dalam biodegradasi pewarna tekstil dan kain tradisional, yang mengandung senyawa organik bersifat toksik dan persisten.

Batasan-batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilaksanakan pada skala laboratorium dengan menggunakan reaktor *batch* aerobik.
2. Jenis limbah yang diteliti adalah limbah sintetik yang mengandung pewarna naftol.
3. Uji biodegradasi dilakukan pada kadar limbah optimum yang merupakan hasil dari tahap awal penelitian.

- Parameter yang diteliti adalah intensitas warna, kadar komponen bahan organik termasuk yang bersifat toksik (dinyatakan sebagai COD), dan pH.
- Jenis kapang yang digunakan adalah spesies tunggal *P. chrysosporium*.

Permasalahan yang digunakan sebagai acuan dalam studi ini adalah:

- Pada konsentrasi zat pewarna sintetik berapakah *P. chrysosporium* masih dapat tumbuh dengan baik untuk melakukan biodegradasi?
- Berapakah efisiensi penyisihan warna oleh *P. chrysosporium* pada kadar optimum zat pewarna?
- Bagaimanakah perubahan pH yang berlangsung selama proses biodegradasi?

Tujuan penelitian ini adalah:

- Menentukan potensi *P. chrysosporium* untuk pengolahan zat pewarna kain sintetik.
- Menentukan kadar optimum pewarna kain sintetik pada biodegradasi oleh *P. chrysosporium*.
- Menentukan efisiensi penyisihan komponen organik (dinyatakan dalam intensitas warna dan COD) pada limbah pewarna kain sintetik oleh *P. chrysosporium*, serta pola perubahan pH yang terjadi selama proses biodegradasi.

BAHAN DAN CARA KERJA

Pada penelitian pengujian kemampuan kapang dalam biodegradasi limbah tekstil digunakan pewarna kain sintetik jenis direk orange S dan zat warna reaktif *rhemazol yellow* yang digunakan di industri pencelupan kain di daerah Pedungan, Denpasar.

Karakterisasi limbah

Karakterisasi pewarna sintetik dilakukan dengan mengukur kadar dari parameter-parameter pH, COD, dan intensitas warna.

Penyiapan media dan kultur kapang

Kapang *P. chrysosporium* yang diperoleh dari Laboratorium Bioteknologi Limbah PPAU-ITB dipersiapkan terlebih dahulu dengan menumbuhkannya pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) dalam cawan petri. Pada umur 4-7 hari, biakan tersebut siap digunakan.

Penentuan kadar limbah optimum

Kadar optimum limbah untuk proses biodegradasi oleh kapang ditentukan dengan mengukur pertumbuhan radial

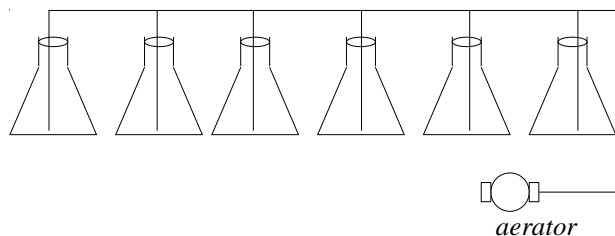
koloni pada media minimum padat untuk pertumbuhan di cawan petri. Pada kadar limbah yang semakin tinggi, pertumbuhan radial akan semakin lambat, yang dicerminkan oleh radius pertumbuhan yang semakin kecil (Tien & Kirk, 1988; dalam Suhardi 1998). Komposisi media minimum adalah sebagai berikut: 100 ml media basal III, 60 ml larutan mineral, 10 ml 100 mg/l tiamin, 10 g glukosa, 0,2 g amonium tartrat, larutan buffer 20 mM natrium 2,2-dimetilsuksinat pH = 4,5, 1 l akuades, 17 g baktioagar. Larutan basal III dibuat dari 20 g KH_2PO_4 , 1,0 g CaSO_4 , dan 5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1 l akuades.

Inokulasi dilakukan dengan menumbuhkan irisan biakan padat kapang berukuran 0,3-0,5 cm pada bagian tengah media secara aseptik di dalam ruang steril (Suhardi, 1998). Pertumbuhan radial diukur dengan mengukur diameter koloni kapang setiap hari, selama 4 hari berturut-turut pada suhu inkubasi 30° C. Kadar optimum limbah ditentukan berdasarkan tingkat konsentrasi limbah tertinggi yang masih dapat ditoleransi, dimana koloni kapang masih dapat tumbuh dengan baik.

Uji biodegradasi limbah

Reaktor *batch* yang digunakan adalah labu erlenmeyer 1 l yang dilengkapi dengan sistem aerasi (Gambar 1). Media yang digunakan adalah media minimum yang dibubuhi limbah dengan kadar optimum. *P. chrysosporium* ditumbuhkan dalam media pertumbuhan spora di dalam cawan petri. Komposisi media penumbuh spora adalah: 10 g *malt extract*, 10 g glukosa, 2 g *yeast extract*, 1 g *l*-asparagin hidroklorida, 2 g KH_2PO_4 , 1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,001 g tiamin hidroklorida.

Setelah 4-6 hari spora dari cawan petri dipindahkan ke dalam 250 ml media penumbuh spora cair. Biakan ini diinkubasi pada 25° C selama 4-6 hari dengan laju agitasi 120 rpm. Pelet miselium yang terbentuk disaring secara aseptik dan dicuci dengan larutan NaCl 0,85%. Selanjutnya pelet miselium dihancurkan secara aseptik dan dicampurkan pada media pertumbuhan yang mengandung limbah pada konsentrasi optimum yang telah ditentukan.



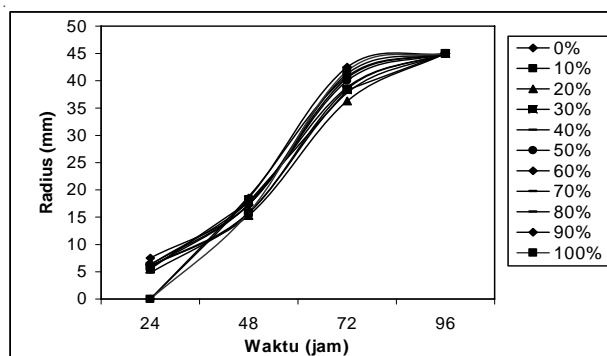
Gambar 1. Skema reaktor

Kemampuan biodegradasi zat pewarna tekstil oleh jamur diukur dengan menentukan tingkat penyisihan warna dan COD dalam jangka waktu pengamatan selama 12 hari. Selain itu diukur pula perubahan pH yang terjadi selama proses biodegradasi berlangsung.

HASIL

Pertumbuhan radial

Pada penelitian tentang pertumbuhan radial digunakan media minimum yang mengandung limbah sintetik dengan kadar 0% v/v sampai 100% v/v. Pada penelitian ini pengamatan dilakukan dengan pengukuran radius pertumbuhan jamur setiap 24 jam untuk mendapatkan hasil yang baik. Gambar 2 menunjukkan pertumbuhan radial jamur pada masing-masing kadar limbah.



Gambar 2. Kurva radius koloni *P. chrysosporium* yang ditumbuhkan pada media minimum yang mengandung limbah pewarna sintetik dengan kadar 0-100%

Pada Gambar 2 terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan pertumbuhan radial kapang yang signifikan pada kadar limbah 0% (COD = 120 mg/l) hingga 100% (COD = 1200 mg/l), sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa *P. chrysosporium* dapat tumbuh pada kadar limbah sintetik hingga 100%. Karakteristik limbah sintetik yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

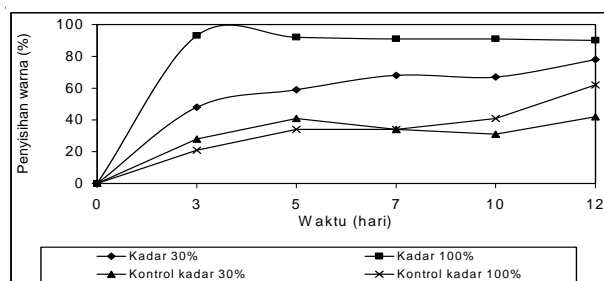
Tabel 1. Karakteristik limbah sintetik

Parameter	Kadar limbah 30%	Kadar limbah 100%
COD (mg/l)	450	1200
Nilai Absorbansi (λ_{520})	1,22	4,00
pH	5,99	6,24
TSS (mg/l)	88	120

Penyisihan warna

Penyisihan warna diamati dengan mengukur tingkat absorbansi pada λ optimum. Pada penelitian dengan limbah sintetik diperoleh nilai λ optimum sebesar 520 nm. Dari hasil pengamatan dalam reaktor limbah sintetik yang dilakukan selama 12 hari tampak adanya penurunan warna yang ditunjukkan oleh semakin rendahnya nilai absorbansi.

Penurunan absorbansi yang terjadi menunjukkan penyisihan warna dipengaruhi oleh kadar limbah; di mana pada kadar limbah yang lebih rendah (30%, atau nilai COD awal = 450 mg/l) persentase penyisihannya meningkat seiring dengan lamanya waktu kontak yang dilakukan. Sedangkan pada kadar limbah 100% (nilai COD awal = 1200 mg/l) pada hari ketiga terjadi penyisihan warna yang cukup tinggi tetapi kemudian cenderung tetap hingga hari ke-12. Gambar 3 menunjukkan efisiensi penyisihan warna dari reaktor dengan kadar limbah 30% dan 100% dengan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 520 nm.

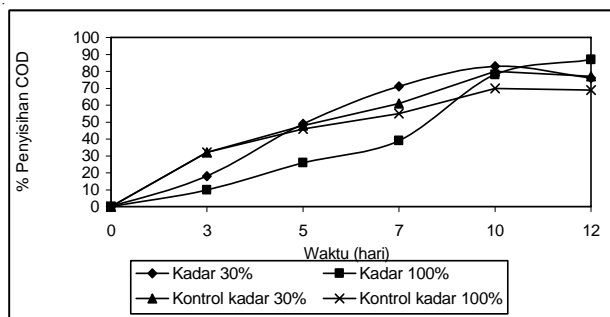


Gambar 3. Kurva penyisihan warna (A_{520}) pada kadar limbah sintetik 30% dan 100%

Gambar 3 menunjukkan persentase penyisihan warna yang tertinggi (93%) terjadi pada hari ketiga pada kadar limbah 100%. Pada kadar limbah 30%, tingkat penyisihan warna adalah 48%, dan terus menunjukkan peningkatan hingga 78% pada hari ke-12.

Penyisihan COD

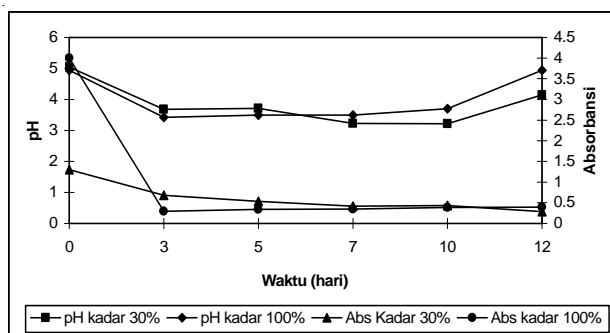
Kandungan bahan organik berupa COD terukur berasal dari glukosa dan zat warna yang merupakan senyawa aromatik. Nilai COD untuk jenis limbah ini adalah 1200 mg/l, sedangkan nilai COD pada limbah yang diencerkan menjadi 30% adalah 450 mg/l. Efisiensi penyisihan COD total selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 4, yang menunjukkan bahwa persentase penyisihan COD terbesar (87%) berlangsung pada hari ke-10 pada kadar limbah 30%. Sedangkan pada kadar limbah 100% tingkat penyisihan COD sebesar 83% terjadi pada hari ke-12.



Gambar 4. Efisiensi penyisihan COD pada reaktor limbah sintetik dengan kadar limbah 30% dan 100%

Perubahan pH

Dari hasil pengamatan terhadap nilai pH tampak adanya fluktuasi pH pada kedua reaktor. Fluktuasi pH yang diamati berlangsung hampir mirip dengan fluktuasi warna. Hal ini menunjukkan adanya keterkaitan antara besarnya nilai pH yang dicapai dengan intensitas warna limbah.



Gambar 5. Perubahan pH dan tingkat absorbansi akibat aktivitas *P. chrysosporium* dalam reaktor dengan kadar limbah 30% dan 100%

Pengamatan terhadap nilai pH selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai pH terendah dicapai setelah hari ketiga, yaitu sebesar 3,23 pada air limbah 30% dan 3,42 pada air limbah 100%, dari nilai pH awal sebesar 5,0-6,0.

PEMBAHASAN

Penurunan intensitas warna

Terjadinya penurunan warna dalam reaktor kontrol (Gambar 3) diakibatkan oleh aktivitas mikroorganisme lain yang mengkontaminasi reaktor. Masuknya mikroorganisme kontaminan ini diperkirakan melalui jalur proses aerasi. Bahkan pada media kontrol dengan kadar limbah 100% terjadi tingkat penyisihan warna yang lebih tinggi dibandingkan pada reaktor kontrol kadar limbah 30%

setelah hari ketujuh. Hal ini menunjukkan adanya kemampuan menyisihkan warna yang cukup tinggi pula dari mikroorganisme kontaminan.

Proses penyisihan warna pada seluruh reaktor yang mengandung kapang terjadi melalui mekanisme enzimatik dan adsorpsi. Hal ini dapat dimungkinkan karena produksi enzim ekstraseluler yang berlebih dari jamur. Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa *P. chrysosporium* memanfaatkan glukosa sebagai kosubstrat dan kondisi nitrogen yang terbatas pada media minimum untuk memacu produktivitas enzimnya. Dalam kasus ini enzim ekstraseluler yang utama dikeluarkan oleh *P. chrysosporium* adalah lignin peroksidase dan mangan peroksidase, di mana peroksidase menghasilkan H_2O_2 yang merupakan oksidator kuat sehingga dapat mengoksidasi berbagai macam senyawa aromatik seperti zat warna hingga menjadi CO_2 dan H_2O (Aust dan Barr, 1994). Dalam hal ini struktur zat warna yang dipecahkan oleh aktivitas enzim ekstraseluler tersebut adalah senyawa azo ($N=N$).

Seperti telah disebutkan terdahulu, kapang merupakan organisme heterotrof yang menggunakan bermacam-macam senyawa kimia sebagai nutrisi. Zat warna, yang merupakan senyawa kimia yang berukuran molekul besar, tidak dapat langsung diabsorpsi oleh jamur. Untuk itu molekul-molekul zat warna tersebut terlebih dahulu diuraikan di luar sel jamur oleh enzim ekstraseluler.

Setelah zat warna diuraikan menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan ukuran molekul yang lebih kecil, barulah absorpsi metabolit dapat berlangsung. Hal ini terjadi karena kapang merupakan organisme osmotrof yang memperoleh zat-zat nutrisinya sebagai larutan yang dapat melewati membran plasma. Hal lain yang dapat mendukung mekanisme penyisihan zat warna ini adalah kemungkinan terakumulasinya zat warna pada biomassa jamur yang tumbuh.

Faktor lain yang menyebabkan penurunan tingkat penyisihan adalah kenaikan pH selama penelitian berlangsung. Sebagaimana diketahui, intensitas warna bergantung pada nilai pH, sebagaimana dinyatakan oleh Knapp dan Newsby (1999) bahwa warna akan terlihat lebih gelap pada nilai $pH > 10$.

Hal lain yang mungkin terjadi adalah proses adsorpsi, di mana zat warna yang tidak seluruhnya terurai dapat melekat pada permukaan sel, serta dapat muncul kembali pada kondisi pH yang berubah.

Penyisihan COD

Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4, penyisihan COD terus meningkat hingga hari ke-10, walaupun penyisihan warna tidak lagi efektif mulai hari ke-5 (Gambar 3).

Hal ini dikarenakan pada proses penyisihan warna, kemungkinan berlangsung pula mekanisme kerja jamur yang bersifat fisik, berupa adsorpsi warna pada biomassa. Sedangkan pada penyisihan COD berlangsung mekanisme penggunaan kandungan bahan organik terlarut sebagai substrat atau sumber C. Penurunan nilai COD pada reaktor kontrol dikarenakan penurunan kadar glukosa yang terdapat pada media minimum yang mungkin dikonsumsi oleh mikroorganisme lain yang tumbuh akibat dari kontaminasi yang tidak dapat dicegah

Penurunan pH

Proses pembentukan asam organik hasil dari metabolisme glukosa merupakan salah satu faktor yang menyebabkan penurunan pH yang berlangsung pada hari ketiga. Pada hari-hari selanjutnya nilai pH relatif konstan, dan menunjukkan peningkatan pada hari ke-12. Kenaikan pH tersebut dimungkinkan oleh terjadinya metabolisme lebih lanjut dari asam-asam organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Selain itu dimungkinkan pula telah terjadi fasa stasioner dan kematian jamur serta mikroba lain yang menghasilkan produk-produk yang menaikkan nilai pH. Intensitas warna cenderung konstan hingga pengamatan hari ke-12. Hal ini sejalan dengan kurva penyisihan warna yang cenderung konstan setelah hari ke-5, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *P. chrysosporium* merupakan mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk menurunkan tingkat warna dan COD pada limbah sintetik pewarna kain yang berstruktur naftol.
2. Kinerja kapang pada biodegradasi limbah pewarna kain adalah sebagai berikut:
 - a. *P. chrysosporium* mampu tumbuh dengan baik pada media minimum yang mengandung pewarna sintetik pada kadar 10-100%.
 - b. Penyisihan warna sebesar 90% dicapai pada hari ketiga pada kadar limbah 100%, dan hampir mencapai 80% pada hari ke-12 pada kadar limbah 30%.

- c. Penyisihan COD total dapat mencapai 87% pada hari ke-10 pada kadar limbah 30%, dan mencapai 83% pada kadar limbah 100% pada hari ke-12.
- d. Nilai pH menunjukkan penurunan hingga sekitar nilai 3,0 setelah hari ketiga pengamatan dalam kedua reaktor.

DAFTAR PUSTAKA

- Aust SD dan Barr DP, 1994. Pollutant degradation by white rot fungi. *Review of environmental contamination and toxicology* 138: 49-67.
- Huynh, Van-Ba, Chang H, Joyce TW, and Kirk TK, 1985. Dechlorination of chloro-organics by a white rot fungus. *Tappi Journal*: 98-102
- Kardena E dan Sofyan A, 1997. Chlorolognin removal using *Phanerochaete chrysosporium* in a rotating biological contactor. *Laboratorium Bioteknologi Limbah PPAU-ITB*
- Knapp JS dan Newsby PS, 1999. The decolourisation of a chemical industry effluent by white rot fungi. *Journal Water Research* 33(2): 575-577.
- Pallerla S dan Chambers RP, 1995. Continuous decolorization and AOX reduction of bleach plant effluents by free and immobilized *Trametes versicolor*. *J. Environ. Sci. Health, A30(2)*: 423-437
- Prasad DY dan Joyce TW, 1991. Color removal from kraft bleach plant effluents by *Trichoderma sp.* *Tappi Journal*: 165-169
- Suhardi VSH, 1998. Decolourisation of colour from Kraft Mill wastewater with cultures and immobilised mycelium of white rot fungi. Makalah. *Laboratorium Bioteknologi Limbah PPAU-ITB*
- Trihadiningrum Y, J Hermana IDAA, Warmadewanthi ES, Soedjono, dan Masduqi A, 2000. Penyisihan warna dan lignin pada limbah pabrik pulp dengan jamur pelapuk putih. Laporan DCRG, Urge Project. *Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Depdiknas.*
- Trihadiningrum Y, 2001. Aplikasi jamur pelapuk putih *Phanerochaete chrysosporium* dalam biodegradasi limbah industri bersifat toksik dan persisten. Laporan Akhir Due Like Project, *Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.*

Reviewer: **Dr. Ni'matuzahroh**