

## Biosorpsi ion tembaga dalam limbah *tailing* menggunakan jamur pelapuk putih amobil

*Biosorption of copper ion in tailing mining effluent using immobilized white-rot fungi*

Firda DIMAWARNITA<sup>1\*)</sup>, SUHARYANTO<sup>1)</sup>, TRI-PANJI<sup>1)</sup>,  
Nur RICHANA<sup>2)</sup> & Achmad ZAINUDIN<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia, Jl. Taman Kencana No.1, Bogor 16128, Indonesia

<sup>2)</sup> Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian,  
Jl. Tentara Pelajar No. 12 Bogor 16111, Indonesia

<sup>3)</sup> Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran  
Jl. Raya Bandung Sumedang Km 21 Jatinagor, Sumedang 45361, Indonesia

Diterima tanggal 2 April 2015/disetujui tanggal 22 Juni 2015

### Abstract

Copper and gold mining industry produce large amount of tailings effluent containing heavy metals such as Cu and Hg that will pollute environment and agricultural land, if it is not properly treated. Effort in reducing pollution level and recovery of metal in tailing could be conducted with biosorption process using microbial cell as an absorbent agent. This study aims to determine the ability of selected white rot fungi (WRF) immobilized on empty fruit bunches of oil palm (EFB) to absorb Cu (II) metals in tailing. Based on growth rate, ligninolytic enzymes activity, and the absorption capacity of heavy metals, the superior WRF candidate was *Omphalina* sp. The ability of biomass *Omphalina* sp. to decrease the concentration of Cu (II) with an initial concentration of 150 ppm, up to 63%. *Omphalina* sp. that immobilized on TKKS was able to reduce Cu (II) as much as 66-77% at pH 4.0 for 60 minutes.

[Key words: Tailing bioremediation, metal biosorption, white-rot fungi, fungal immobilization]

### Abstrak

Eksplorasi tambang tembaga dan emas banyak menghasilkan limbah *tailing* yang masih mengandung logam berat seperti Cu (II) dan Hg (II). Limbah tersebut berpotensi mencemari perairan dan lahan pertanian bila tidak ditangani dengan baik. Usaha untuk mengatasi limbah *tailing* dan sekaligus memekatkan (*recovery*) logam di dalamnya dapat dilakukan dengan proses biosorpsi menggunakan sel mikroba. Penelitian ini bertujuan menetapkan kemampuan biomassa jamur pelapuk putih (JPP) yang diimmobilisasi pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dalam mengabsorpsi ion logam Cu (II). Metode biosorpsi logam yang digunakan dengan sistem batch dengan kadar logam 300 ppm, 200 ppm, dan 150 ppm. Hasil seleksi JPP berdasarkan laju pertumbuhan, aktivitas enzim ligninolitik, dan penyerapan logam berat telah diperoleh kandidat JPP unggul yaitu

*Omphalina* sp. Dalam media PDB, *Omphalina* sp. toleran terhadap Cu (II) hingga konsentrasi 150 ppm. Kemampuan biomassa *Omphalina* sp. untuk penurunan konsentrasi Cu (II) dengan konsentrasi awal 150 ppm yaitu mencapai 63%. *Omphalina* sp. yang diimmobilisasi dengan TKKS mampu menurunkan kandungan Cu (II) sebesar 66-77% pada pH 4.0 selama 60 menit.

[Kata kunci : Bioremediasi-limbah *tailing*, biosorpsi logam, jamur-pelapuk putih, imobilisasi jamur]

### Pendahuluan

Pencemaran logam berat akhir-akhir ini menjadi perhatian penting di berbagai negara terkait dengan makin meningkatnya standar keamanan pangan (*food safety*) yang merupakan salah satu komponen dari ketahanan pangan (*food security*) (Badan Ketahanan Pangan 2013). Logam berat seperti timbal, tembaga, dan seng yang dihasilkan oleh limbah industri telah menyebabkan pencemaran cukup berat di Sungai Siak, Pekanbaru sehingga berbahaya untuk air minum, prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan pengairan lahan pertanian (Agustina *et al.*, 2012). Logam berat seperti merkuri, kadmium, dan tembaga dalam konsentrasi cukup rendah (25-50 ppm) dapat menekan dan mematikan bakteri tanah bermanfaat seperti *Azotobacter* spp. (Luqman *et al.*, 2012). Logam berat dalam konsentrasi relatif sangat kecil akan terserap oleh organisme tingkat rendah seperti plankton dan akan terbawa dalam rantai makanan hingga terakumulasi pada tubuh manusia (Mawardi 2007).

Akumulasi logam berat dalam tubuh dapat menyebabkan gangguan serius pada syaraf otak, ginjal akut, kelainan janin, dan memicu kanker karena bertindak sebagai karsinogen melalui mekanisme oksidatif menghasilkan radikal bebas dan spesies oksigen reaktif menyerang dan merusak DNA sehingga gen-gen serta enzim penting lainnya tidak aktif (Misra *et al.*, 2010).

\*) Penulis korespondensi: firda.dimawarnita@gmail.com

Sumber pencemaran logam berat terutama berasal dari air limbah tambang mineral atau *tailing*, limbah industri, limbah penambangan, residu pupuk dan pestisida kimia, serta limbah rumah tangga (Darmono, 2001). Jumlah limbah tailing menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2013) di PT Freeport Indonesia saja mencapai 230.000 ton per hari. Pohan et al. (2007) melaporkan bahwa endapan *tailing* tambang emas PT Freeport Indonesia masih mengandung tembaga (0,75%), emas (22 ppb), perak (Ag 2 ppm), dan Hg dalam jumlah kecil (0,2-10 ppb). Pencemaran merkuri di Indonesia juga sering dijumpai di sekitar tambang emas perusahaan skala kecil yang menggunakan merkuri untuk proses amalgamasi (Iswari & Martono, 2007). Walaupun konsentrasinya rendah, mengingat jumlahnya sangat besar, logam dalam *tailing* bila tidak ditangani dengan baik akan berdampak negatif terhadap lingkungan hidup. Di sisi lain logam tersebut masih bernilai ekonomis tinggi. Pemanfaatan limbah *tailing* sangat tergantung biaya operasional, jenis teknologi yang digunakan, nilai tambah yang dapat diperoleh, dan aspek ekologis dan sosial.

Menurut Gakwisri et al. (2012) penghilangan logam terlarut dalam limbah cair dapat dilakukan secara fisika atau kimia seperti filtrasi, adsorpsi, penukaran ion, reverse osmosis, presipitasi kimia dan ekstraksi pelarut. Cara ini memiliki kelemahan yaitu penghilangan logam kurang efektif terutama bila kandungan logam dalam limbah rendah (10-100 ppm), diperlukan banyak reagen dan energi, serta menghasilkan *sludge* yang toksik sehingga tidak bisa digunakan untuk aplikasi skala komersial. Oleh sebab itu limbah tersebut perlu ditangani dengan teknologi yang efektif, murah dan ramah lingkungan melalui konsep biosorpsi yaitu pengikatan kation logam oleh sel mikroba yang tidak tergantung metabolisme (*independent metabolism*) melalui pertukaran ion, ikatan formasi kompleks ion logam dengan gugus fungsi dalam dinding sel dan penyerapan pasif (Fomina & Gadd 2014). Proses biosorpsi memungkinkan terjadinya *recovery* logam sekaligus memperbaiki kualitas limbah *tailing*.

Biosorpsi logam berat dapat dilakukan oleh sel bakteri hidup (Chergui et al., 2007), biomassa sel bakteri mati (Singh & Gadi, 2012) serta metabolit bakteri (Asraf et al., 2012); alga (Mawardi, 2007) dan jamur (Wuyep et al., 2007). Jamur pelapuk putih adalah jamur dari golongan basidiomycetes penghasil enzim lignolitik ekstraseluler seperti lignin peroksidase (Li-P), mangan peroksidase (Mn-P) dan lakase (Wesenberg et al., 2003; Siripong et al., 2009); enzim-enzim penghasil H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-generating enzymes), glioksal oksidase dan fenol oksidase (Ohkuma et al., 2001; Katun et al., 2012). Jamur ini tumbuh cepat dalam limbah lignoselulosa seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang dapat berfungsi sebagai bahan pendukung imobilisasi pertumbuhan (*growth*

*immobilization support*). Indonesia memiliki keragaman JPP tinggi, namun sejauh ini potensinya untuk biosorpsi logam berat belum banyak dipelajari. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kemampuan isolat JPP *Omphalina* sp dan *Pholyota* sp. dalam biosorpsi ion tembaga dalam kultur cair dan kultur amobil sistem *batch*.

## Bahan dan Metode

### Bahan

Isolat JPP yang digunakan untuk penelitian adalah *Omphalina* sp. dan *Pholyota* sp. koleksi PPBBI hasil isolasi dari TKKS. Isolat dipelihara dalam media potato dextrose agar (PDA). Bahan imobilisasi berupa TKKS diperoleh dari PKS Kertajaya, PT Perkebunan Nusantara VIII, Banten. Limbah *tailing* sintetis dibuat dari larutan yang mengandung CuSO<sub>4</sub> dan HgCl<sub>2</sub>.

### Penyiapan inokulum

Isolat JPP dari kultur agar miring PDA umur 1-2 minggu diinokulasikan pada cawan petri berisi PDA dan diinkubasi selama kurang lebih satu minggu pada suhu ruang (26-28°C). Kultur miselium kemudian ditumbuhkan dalam media sorgum yang dibuat dengan cara sebagai berikut. Sorgum dicuci, dimasak setengah matang, dan dimasukkan dalam botol selai (50 g), kemudian disterilkan pada suhu 121°C tekanan 1,2 atm selama 15 menit. Kultur miselium diambil sebanyak ± 1 cm<sup>2</sup> dan diinokulasikan ke dalam media sorgum dan dicampur merata kemudian diinkubasikan pada suhu ruang (26-28°C) selama 2-3 minggu sampai seluruh substrat terkolonisasi miselium. Kultur miselium dalam media sorgum digunakan untuk sumber inokulum JPP dalam TKKS.

### Pertumbuhan dan biosorpsi JPP dalam media mengandung ion tembaga

Kultur miselium *Omphalina* sp. dan *Pholyota* sp. dalam media PDA umur dua minggu dicuplik ( $\Phi = 0.5$  cm) dan diinokulasikan pada media PDA mengandung tembaga 150, 200, dan 300 ppm. Kultur diinkubasikan pada suhu ruang (26-28°C) dan laju pertumbuhan JPP diamati secara periodik dengan mengukur diameter koloni sampai permukaan cawan petri penuh.

Selain dalam media padat, isolat JPP juga diuji aktivitas lignolitik dan kemampuan biosorpsinya dalam media PDB. Kultur miselium *Omphalina* sp. dan *Pholyota* sp. dalam media PDA umur dua minggu dicuplik ( $\Phi = 0.5$  cm) dan diinokulasikan pada media 50 ml PDB mengandung tembaga 150, 200, dan 300 ppm. Kultur diinkubasikan dalam suhu ruang (26-28°C) sambil dikocok di atas mesin pengocok dengan kecepatan 75 rpm dan diperiksa aktivitas enzim lignolitiknya setelah 14 hari diinkubasi. Aktivitas enzim lignolitik yang diperiksa meliputi enzim lakase, yang diuji menurut

Bourbonnais & Paice (1992) dengan substrat 2,2'-Azinobis (3-ethylBenzThiazoline-6-Sulphonate (ABTS), enzim lignin peroksidase diuji dengan substrat veratril alkohol (Tien & Kirk, 1984), Mn-peroksidase diuji menurut (Hatakka, 1994) dengan substrat guaikol. Konsentrasi logam Cu terserap dalam miselium diamati dengan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) setelah dua minggu inkubasi. Isolat terbaik dipilih berdasarkan laju pertumbuhan, aktivitas ligninolitik, dan kemampuan miselium menyerap ion logam Cu (II).

#### Imobilisasi JPP terpilih

Tandan kosong kelapa sawit dipotong-potong ukuran 3-6 cm, direndam dalam air selama dua hari dengan beberapa kali penggantian air untuk menghilangkan komponen terekstrak, kemudian ditiriskan hingga kadar air sekitar 50%. Sebanyak 50 g TKKS dimasukkan ke dalam botol selai kemudian disterilisasi pada suhu 121°C, tekanan 1,2 atm selama 15 menit. Setelah dingin, TKKS diinokulasi dengan sekitar 5 g inokulum JPP terpilih dan diinkubasikan selama 30 hari sampai seluruh permukaan serat TKKS terkolonisasi miselium. JPP terpilih amobil dibalut dengan kain poliester dan diikat dengan benang.

#### Cara penyerapan ion Cu (II) dengan JPP amobil

Jamur pelapuk putih amobil dengan dosis 0, 2,5; 5 dan 10% (b/v) dimasukkan dalam labu Erlenmeyer berisi 200 mL larutan 100 ppm Cu<sup>2+</sup> dengan pH larutan diatur pada 4, 5 dan 6. Cara penyerapan dilakukan dengan menempatkan JPP amobil dalam posisi terendam separuh bagian dalam larutan dan separuhnya lagi berada di atas larutan untuk memberikan aerasi pada jamur logam dan digoyang di atas mesin pengocok (shaker) dengan kecepatan 75 rpm. Sampling dilakukan pada 0, 1, 3, dan 5 jam setelah penambahan JPP amobil. Sisa Cu<sup>2+</sup> pada larutan sampel sebelum didestruksi dianalisis dengan SSA (Shimadzu) setelah diencerkan dua kali dengan aquabides untuk memastikan kadar logam dalam sampel linier dengan pembacaan absorbans. Sampel (1 mL) ditambahkan asam nitrat pekat (1 mL) dan dipanaskan pada digester blok hingga volumenya menjadi 1, ditambahkan lagi asam nitrat pekat (1 mL) dan dipanaskan lagi hingga semua logam larut. Setelah dingin, dipindahkan ke dalam labu 10 mL dan volumenya ditetapkan hingga 10 mL kemudian larutan siap diperiksa kadarnya dengan alat SSA. Penurunan kandungan logam dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Penurunan kandungan logam dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{C_s}{C_o}\right) \times 100\%$$

$\alpha_s$  = persentase penurunan logam

Cs = konsentrasi akhir logam (ppm)

Co = konsentrasi awal logam (ppm)

Serapan logam dalam biosorben dihitung dengan rumus :

$$q = V(C_o - C_s)/m$$

q = serapan logam dalam JPP amobil atau biosorben (mg logam/g biosorben)

V = volume larutan yang diperlakukan (mL)

Cs = konsentrasi akhir logam (ppm)

Co = konsentrasi awal logam (ppm)

m = berat biosorben kering (mg)

## Hasil dan Pembahasan

### Pertumbuhan JPP dalam media PDA mengandung Cu (II)

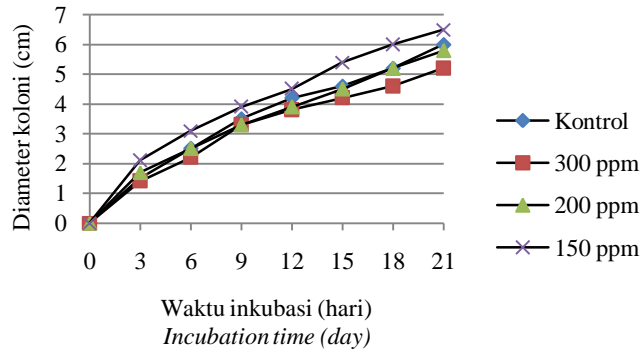
Gambar 1 dan 2 memperlihatkan bahwa *Omphalina* sp. terlihat tumbuh lebih cepat dibandingkan dengan *Pholyota* sp. Selama inkubasi 6-8 hari, diameter *Omphalina* sp. telah mencapai 6-9 cm, sedangkan *Pholyota* sp. baru mencapai 2,5-4,5 cm. Miselium *Omphalina* sp. terlihat lebih kasar dan lebat, sedangkan miselium *Pholyota* sp. lebih halus dan padat (Gambar 3). Secara umum, penambahan 150-200 ppm Cu (II) dalam media PDA tidak banyak mempengaruhi pertumbuhan *Omphalina* sp. dan *Pholyota* sp., sedangkan penambahan 300 ppm Cu (II) terlihat cukup menekan pertumbuhan. Morfologi koloni JPP dibalik cawan terlihat berwarna kuning kecokelatan yang menunjukkan bahwa tembaga terserap dalam miselium kedua isolat JPP tersebut (Gambar 4 dan 5). Hal ini mengindikasikan bahwa kedua isolat JPP tersebut dapat digunakan untuk percobaan biosorpsi Cu (II).

### Pengujian aktivitas enzim ligninolitik

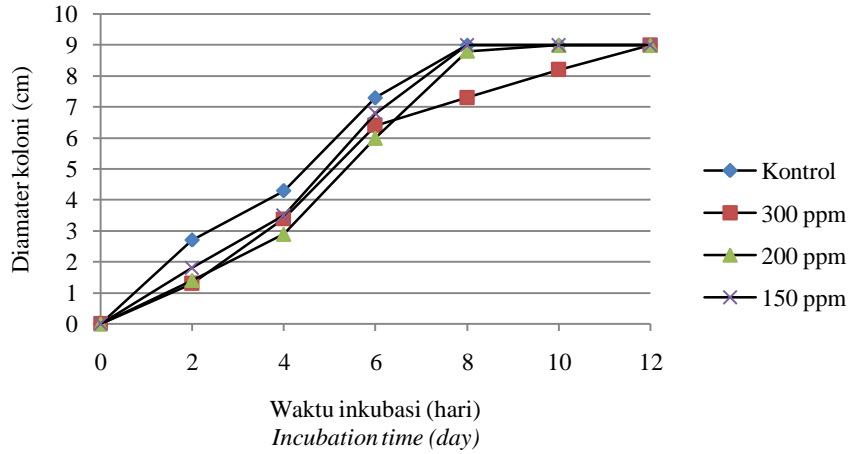
*Pholyota* sp. dan *Omphalina* sp. aktif menghasilkan lakase, Mn-peroksidase dan lignin peroksidase baik tanpa penambahan tembaga maupun dengan penambahan tembaga pada inkubasi selama tujuh hari (Tabel 1 dan 2). Aktivitas ligninolitik umumnya meningkat pada inkubasi selama 14 hari. Tingginya aktivitas ligninolitik yang dihasilkan oleh kedua JPP tersebut akan mempercepat proses imobilisasi dalam substrat TKKS. Sejalan dengan laju pertumbuhan (Gambar 1 dan 2), aktivitas enzim ligninolitik *Omphalina* sp. juga terlihat lebih tinggi dari pada *Pholyota* sp. Penambahan kadar tembaga hingga 300 ppm tidak berpengaruh terhadap aktivitas lignin peroksidase. *Omphalina* sp. dan *Pholyota* sp. yang mampu tumbuh dan menghasilkan enzim-enzim ligninolitik dalam media mengandung Cu (II) hingga 300 ppm diharapkan mampu mengabsorpsi ion Cu (II) dalam biomassa miseliumnya.

### Biosorpsi ion Cu (II) dalam biomassa JPP

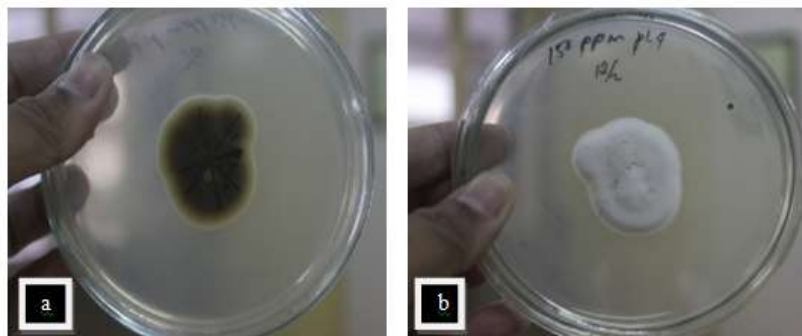
Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat *Omphalina* sp. mampu menyerap logam Cu (II) pada media PDB + Cu (II) setelah dua minggu.



Gambar 1. Pertumbuhan *Pholyota* sp. dalam media PDA pada beberapa konsentrasi tembaga.  
 Figure 1. The Growth of *Pholyota* sp. on PDA with selected concentration of copper.

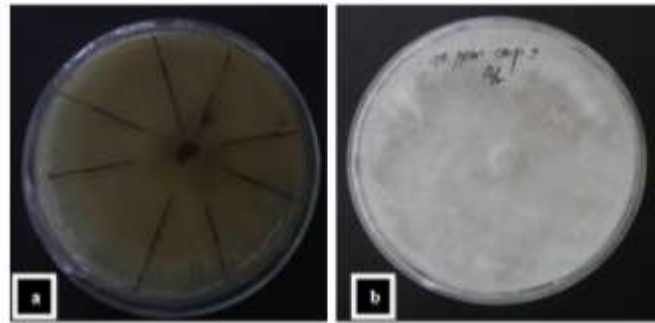


Gambar 2. Pertumbuhan *Omphalina* sp. dalam media PDA pada beberapa konsentrasi tembaga.  
 Figure 2. The Growth of *Omphalina* sp. on PDA with selected concentration of copper.



Gambar 3. Pertumbuhan *Pholyota* sp. Pada media PDA + 150 ppm Cu (II) tampak bawah (a) dan tampak atas (b).

Figure 3. The growth of *Pholyota* sp. grown on PDA + 150 ppm Cu(II) back view (a) and top view (b).



Gambar 4. Pertumbuhan koloni *Omphalina* sp. dalam media PDA+ 150 ppm Cu (II) tampak bawah (a) dan tampak atas (b)

Figure 4. The growth of *Omphalina* sp. grown on PDA + 150 ppm Cu(II) back view (a) and top view (b)



Gambar 5. Massa miselium *Omphalina* sp. yang ditumbuhkan pada media PDB + Cu (II) 307,8 ppm.

Figure 5. Mass mycelium of *Omphalina* sp. grown on PDB+Cu (II) 307,8 ppm.

Tabel 1. Aktivitas enzim ligninolitik *Omphalina* sp. Pada media PDB mengandung tembaga.

Table 1. The activity enzym ligninolitik of *Omphalina* sp. in PDB medium containing Cu (II).

Perlakuan Treatment	Lakase (U/mL) Laccase (U/mL)		Mn-peroksidase (U/mL) Mn-peroxidase (U/mL)		Lignin peroksidase (U/mL) Lignin peroxidase (U/mL)	
	7 hari (days)	14 hari (days)	7 hari (days)	14 hari (days)	7 hari (days)	14 hari (days)
	Kontrol	6,295	6,486	19,71	29,17	0,567
300 ppm Cu	3,535	5,214	11,40	25,87	2,267	4,366
200 ppm Cu	4,098	6,439	6,99	29,34	13,40	0,312
150 ppm Cu	5,040	5,045	6,96	20,57	1,426	3,137

Tabel 2. Aktivitas enzim ligninolitik *Pholyota* sp. pada media PDB mengandung tembaga.

Table 2. The activity enzym ligninolitik of *Pholyota* sp. in PDB medium containing copper.

Perlakuan Treatment	Lakase (U/mL) Laccase (U/mL)		Mn-peroksidase (U/mL) Mn-peroxidase (U/mL)		Lignin peroksidase (U/mL) Lignin peroxidase (U/mL)	
	7 hari (days)	14 hari (days)	7 hari (days)	14 hari (days)	7 hari (days)	14 hari (days)
	Kontrol	0,093	0,044	0,133	0,347	2,190
300 ppm Cu	0,155	0,046	0,232	0,111	1,708	1,557
200 ppm Cu	0,033	0,184	0,023	1,192	5,394	1,394
150 ppm Cu	0,004	0,187	0,003	0,472	1,368	7,756

Tabel 3. Penyerapan tembaga dalam media PDB oleh biomassa *Omphalina* sp. dan *Pholyota* sp. selama dua minggu.

Table 3. The absorption of copper in the medium PDB by biomass *Omphalina* sp. and *Pholyota* sp. for two weeks.

Perlakuan <i>Treatment</i>	Kadar Cu (II) dalam media (ppm) <i>Cu content in the media (ppm)</i>		Penurunan <i>Reduction</i> (%)
	Awal ( <i>Before</i> )	Akhir ( <i>After</i> )	
<i>Omphalina</i> sp.	307,8	178,8	41,92
	241	148,8	38,32
	176,4	64,54	63,41
<i>Pholyota</i> sp.	307,8	166	46,06
	241	131,81	45,37
	176,4	169,1	4,15

Massa miselium *Omphalina* sp. yang tumbuh dalam media tersebut terlihat berwarna cokelat kekuningan yang menunjukkan logam Cu (II) terserap di dalamnya (Gambar 6). Menurut Milovanović et al. (2014), perubahan warna miselium JPP menunjukkan adanya serapan logam tertentu. Penyerapan tertinggi yaitu sebesar 63,41% diperoleh pada media PDB mengandung 150 ppm Cu (II). Penyerapan Cu (II) pada konsentrasi 200 dan 300 ppm lebih rendah yaitu sebesar 38,32% dan 41,92% (Tabel 3). Hal ini dapat difahami karena makin tinggi kadar Cu (II), maka efek toksisitas juga makin meningkat. Penyerapan ion Cu (II) dalam biomassa miselium JPP menyebabkan kadar Cu (II) dalam filtrat menurun. *Pholyota* sp. juga mampu menyerap logam cukup tinggi, tetapi hasilnya belum cukup konsisten. Seleksi mikroorganisme yang sesuai merupakan faktor penting untuk merancang proses penyerapan logam dalam limbah secara biologis karena dari sejumlah jenis mikroorganisme yang telah diidentifikasi hanya sedikit yang memiliki daya tahan tinggi terhadap toksisitas ion logam berat (Suhendrayatna 2006). Atas dasar hasil pengujian di atas, *Omphalina* sp. dipilih untuk dilakukan imobilisasi dengan matrik TKKS dan digunakan untuk percobaan biosorpsi Cu (II).

*Penyerapan ion Cu (II) oleh Omphalina sp. yang diimobilisasi pada TKKS*

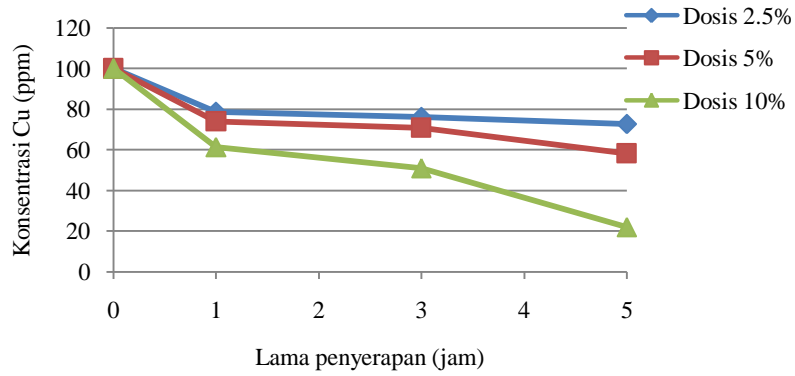
*Omphalina* sp. yang diimobilisasi dengan TKKS digunakan untuk biosorpsi larutan Cu (II) pada pH 4,0 dan 5,0 dan diamati sorpsinya selama 1, 3, dan 5 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Omphalina* sp. amobil sangat efektif untuk biosorpsi ion Cu (II) yang dapat dilihat laju penurunan kadar ion Cu (II) (Gambar 7). Penurunan ion Cu (II) dipengaruhi oleh pH larutan. Secara umum, laju penurunan kadar ion Cu (II) pada larutan pH 4,0 (Gambar 8) lebih cepat dibandingkan dengan laju penurunan kadar ion Cu (II) pada larutan pH 5,0. Pada pH 4, dalam waktu satu jam, kadar ion Cu (II) dari 100 ppm berkurang

menjadi 29-34 ppm atau terserap sebesar 66-71%, sedangkan pada pH 5,0 ion Cu (II) dari 100 ppm berkurang menjadi 22-73 ppm atau terserap sebesar 27-78% dalam waktu lima jam. Perpanjangan lama penyerapan hingga 24 jam tidak meningkatkan pengurangan konsentrasi Cu (II) yang menunjukkan biosorben telah mulai jenuh. Berkurangnya kadar Cu (II) tersebut karena terabsorpsi oleh biosorben *Omphalina* sp. amobil. Tingginya penyerapan Cu (II) pada pH 4,0 dibandingkan dengan penyerapan pada pH 5,0 kemungkinan disebabkan pada pH lebih tinggi Cu (II) dapat membentuk Cu(OH)<sub>2</sub> yang kemudian terurai menjadi CuO yang sulit larut, sementara pada pH rendah (asam) lebih mudah membentuk Cu<sup>2+</sup> yang mudah diabsorb oleh biomassa *Omphalina* sp.

Laju penurunan Cu (II) pada larutan pH 5,0 lebih banyak dipengaruhi oleh dosis biosorben yang digunakan dibandingkan dengan laju penurunan larutan Cu (II) pH 4,0. Hal tersebut kemungkinan terkait dengan ion Cu<sup>2+</sup> yang kelarutannya lebih tinggi sehingga mudah terabsorb pada dosis absorben rendah. Menurut Mawardi (2007) interaksi antara ion logam dengan biomassa melibatkan mekanisme pertukaran ion, kompleksasi, dan interaksi elektrostatis. Walaupun penurunan yang dicapai melalui proses biosorpsi sudah sangat tinggi, kadar Cu tersebut masih perlu diberi perlakuan lanjutan seperti penyerapan ulang dengan biosorben baru untuk memenuhi baku mutu logam Cu dalam air limbah industri sesuai dengan Kepmen LH 51/Men LH/1-/1995, yaitu kurang dari 2-3 ppm. Perlu juga penelitian lanjutan untuk penurunan kadar Cu dengan sistem kontinyu atau dengan sistem multi step untuk penurunan kadar kadar Cu yang lebih tinggi.

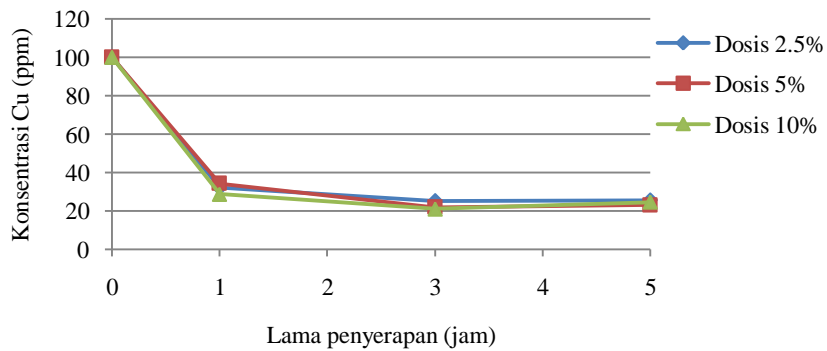
*Kapasitas biosorpsi Cu dengan Omphalina sp. amobil*

Kapasitas biosorpsi *Omphalina* sp. amobil terhadap logam Cu (II) berbanding lurus dengan penurunan konsentrasi logam tersebut dalam



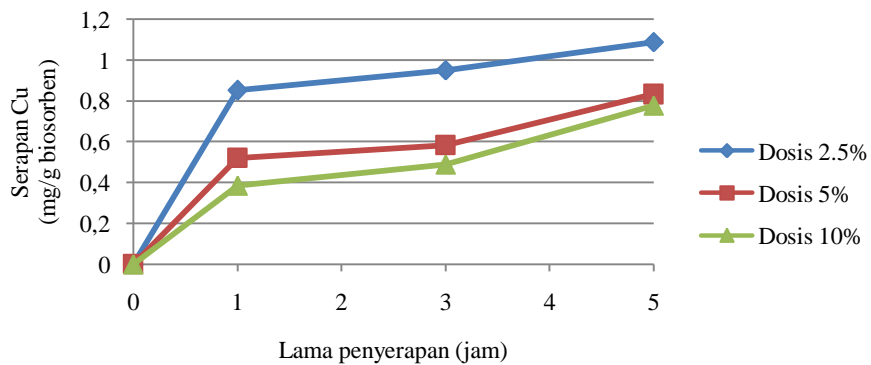
Gambar 6. Penurunan konsentrasi Cu (II) pada larutan pH 5,0 oleh *Omphalina sp.* amobil pada dosis 2,5; 5; dan 10%.

Figure 6. The decline in the concentration of Cu (II) in a solution of pH 5,0 by *Omphalina sp.* immobilized with dose of 2,5; 5; and 10%.



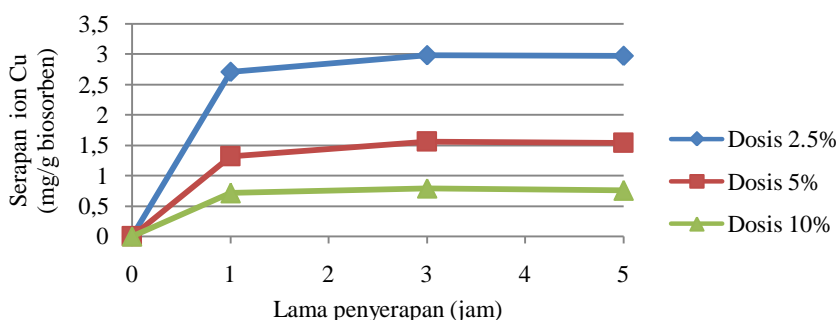
Gambar 7. Penurunan konsentrasi Cu (II) pada larutan pH 4,0 oleh *Omphalina sp.* amobil pada dosis 2,5; 5; dan 10%.

Figure 7. The decline in the concentration of Cu (II) in a solution of pH 4,0 by *Omphalina sp.* immobilized with dose of 2,5; 5; and 10%.



Gambar 8. Kapasitas biosorpsi *Omphalina sp.* amobil terhadap Cu (II) pada larutan pH 5,0.

Figure 8. Biosorption capacity of *Omphalina sp.* immobilized on the Cu (II) in a solution pH 5,0.



Gambar 9. Kapasitas biosorpsi *Omphalina* sp. amobil terhadap Cu (II) pada larutan pH 4,0.  
 Figure 9. Biosorption capacity of *Omphalina* sp. immobilized on the Cu (II) in a solution pH 4,0.

larutan. Makin tinggi penurunan konsentrasi logam dalam larutan makin tinggi pula penyerapan logam dalam biomassa *Omphalina* sp amobil. Seperti pada penurunan konsentrasi logam, kapasitas absorpsi juga dipengaruhi oleh pH larutan (Gambar 8 dan 9). Kapasitas absorpsi *Omphalina* sp. amobil terhadap Cu (II) dengan pH 4,0 lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas absorpsi Cu (II) pada pH 5,0. Soeprijanto *et al.* (2005) juga melaporkan bahwa biosorpsi logam Cr (VI) dengan *Saccharomyces cerevisiae* optimum pada larutan pH 4,0. Kapasitas absorpsi juga dipengaruhi oleh lama aplikasi biosorben. Absorpsi pada larutan pH 4,0 mula-mula berlangsung dengan cepat pada jam pertama absorpsi kemudian relatif konstan, sedangkan pada pH 5,0 absorpsi masih terus meningkat sampai dengan lima jam aplikasi.

Kapasitas biosorpsi pada jam pertama pada larutan Cu (II) pH 4,0 mencapai 0,7-2,7 mg/g biosorben dan tertinggi yaitu sebesar 2,97 mg/g biosorben setelah 5 jam aplikasi, sedangkan pada larutan Cu (II) pH 5,0 biosorpsi tertinggi mencapai 0,77-1,08 mg/g biosorben yang dicapai setelah aplikasi selama 5 jam. Kisaran serapan yang tinggi kemungkinan disebabkan oleh variasi densitas miselium dalam kultur JPP. Kapasitas biosorpsi *Omphalina* sp. yang diperoleh dalam penelitian ini hampir sama dengan kapasitas biosorpsi rumput laut *Thalassia hemprichii* yaitu 2,503 mg/g yang berlangsung pada pH 5,0 (La Nafie & Taba, 2010). Namun, percobaan dengan rumput laut *T. hemprichii* tersebut menggunakan larutan Cu (II) yang konsentrasinya lebih rendah (10 ppm). Hasil penelitian ini lebih rendah dari biosorpsi dengan biomassa *Phanerochaete chrysosporium* tanpa amobilisasi yaitu 3,99 mg/g dalam waktu sekitar 160 menit (Soeprijanto *et al.* tidak dipublikasi). Bahan-bahan imobilisasi kemungkinan memiliki porositas dan sumber gugus fungsi yang berbeda dengan biomassa jamur sehingga mempengaruhi kapasitas sorpsi. Kapasitas absorpsi per satuan berat absorben (mg logam/g absorben)

lebih tinggi pada aplikasi dosis 2,5%, dibandingkan dengan dosis 5% dan 10%. Hal ini dapat terjadi karena tidak seluruh bagian absorben pada dosis lebih besar mampu menyerap dengan kapasitas yang sama sehingga penurunan konsentrasi logam tidak sebanding dengan peningkatan bobot biosorben. Namun, total serapan logam makin meningkat dengan meningkatnya dosis biosorben.

Untuk meningkatkan kapasitas biosorpsi, biomassa dapat dikontakkan terlebih dahulu dengan larutan basa (NaOH 0,5 N) selama beberapa menit, untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang ada pada permukaan, seperti lemak, protein, dan polisakarida, sehingga akan membuka rongga pori-pori kemudian dicuci dengan aquades sampai air bekas cucian mendekati netral. Biomassa *Omphalina* sp. yang telah diimobilisasi memiliki kelebihan yaitu logam yang telah diserap dapat diambil kembali (*recovery*), biomassa sel lebih mudah dipisahkan dari larutan limbah, dua atau lebih mikroorganisme dapat digunakan bersama, dan dapat dirancang untuk sistem kontinu atau sistem *fed batch*. Teknik aplikasi JPP amobil dengan sistem kontinu atau aliran akan dipelajari pada penelitian tahun kedua.

### Kesimpulan

Jamur pelapuk putih *Omphalina* sp. potensial untuk biosorpsi logam berat Cu (II). Biomassa *Omphalina* sp. mampu menurunkan 63% ion Cu (II) selama dua minggu. *Omphalina* sp. yang diimobilisasi dengan TKKS dosis 2,5% mampu menurunkan kandungan Cu (II) sebesar 66-77% pada pH 4,0 selama 60 menit.

### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana berkat bantuan dana dari program Kerjasama Kemitraan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Nasional (KKP3N), Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian RI dengan kontrak Nomor : 90/PL.220/I.1/3/2014 Tanggal : 10 Maret 2014.



### Daftar Pustaka

- Adiarto T (1998). *Teknik Penanganan Logam Berat secara Kimia*. Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur.
- Agustina Y, B Amin & Thamrin (2012). Analisis beban dan indeks pencemar di tinjau dari parameter logam berat di Sungai Siak Kota Pekanbaru. *J Ilmu Lingkungan* 6 (2), 162-173.
- Asraf ME, ES. Abd. Alsalam & RM Ali (2012). Biogenic volatile compound of activated sludge and their application for metal bioremediation. *African J Biotechnol* 11(42), 9993-10001.
- Badan Ketahanan Pangan (2013). *Pedoman Pelaksanaan Penanganan Keamanan Pangan Segar*. Jakarta, Kementerian Pertanian, Badan Ketahanan Pangan 32p.
- Bourbonnais RE & MG Paice (1992). Demethylation and delignification of kraft pulp by *Trametes versicolor* laccase in the presence of 2,2'-azinobis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate). *Appl Microbiol Biotechnol* 36, 823-827.
- Chergui A, MZ Bakhti, A Chahboub, S Haddoum, A Selatnia & GA Unter (2007). Simultaneous biosorption of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , and  $\text{Cr}^{6+}$ , from aqueous solution by *Streptomyces risomus*. *Desalination* 206, 179-184.
- Darmono (2001). *Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi senyawan Logam*. Jakarta, UI Press.
- Drake LR & GR Rayson (1996). Plant-derivat material for metal ion-selective binding and pre-concentration. *Analyt Chem News & Feature* 68 (1), 22-27.
- Fomina M & GM Gadd (2014). Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. *Biores Technol* 160, 3-14.
- Gakwisiri C, NRA Al-Saadi, S Al-Aisri & A Al-Ajmi (2012) A critical review of removal of zinc from wastewater. *In: Proc of the World Congress on Engineering* Vol 1 WCE 2012.
- Gakwisiri C, N Raul, A Al-Saadi, S Al-Aisiri & A Al-Ajimi (2012). A critical review of removal of zinc from wastewater. *In: Proc of the World Congress on Engineering*. Vol I, 1-4.
- Hatakka A (1994). Lignin modifying enzyme from selected white-rot fungi : Production and role in lignin degradation. *FEMS Microbiol Rev* 13, 125-135.
- Iswari & H Martono (2009). Pencemaran di wilayah tambang emas rakyat. *Media Litbang Kesehatan* XVII (3), 42-50.
- Kementerian Lingkungan Hidup (2013). *Workshop Pemanfaatan Limbah Tailing Pertambangan*. Diunduh dari :<http://www.menlh.go.id/workshop-pemanfaatan-limbah-tailing> [20 Januari 2015]
- Khatun S, MD Ashraduzaman, MR Karim, F Pervin, N Absar & A Rosma (2012). Purification and characterization of peroxidase from *Moringa oleifera* leaves. *Bio Resources* 7 (3), 3237-3251.
- Knox AS, J Seaman, DC Andriano & G Pierzynski (2000). Chemostabilization of metals in contaminated soils. *In: Wise DL et al.* (eds). *Bioremediation of Contaminated Soils*. New York: Marcel Dekker Inc. p.811-836.
- La Nafie N & P Taba (2010). Biosorption of Cu (II) ion by using seagrass biomass of *Thalassia hemprichii* found Barrang Lompo Island. *J Ilmu Alam & Lingkungan* 1 (2), 20-28.
- Luqman A, M Sovitri & E Zulaika (2012). Resistance of some *Azotobacter* spp. isolates against heavy metals. *In: Proc Scientific Conference on Environmental Technology XI: Advance in Agricultural and Municipal Waste Technology to Anticipate Food and Energy Crisis*, Surabaya.
- Matsumoto S (2001). Soil degradation and desertification In the world and the challenge for vegetative rehabilitation. *In: Proceeding Workshop Vegetation Recovery in Degraded Land Areas*. Kalgoorlie, Australia, 27 October-3 November 2001.p.1-10.
- Mawardi (2007). Kajian biosorpsi ion-ion logam berat oleh biomassa alga hijau *Spirogyra subsalsa*. *Disertasi*. Depok, Program Studi Ilmu Kimia, Program Pascasarjana, Universitas Indonesia.
- Milovanović I, I Brčeski, M Stajić, A Korać, J Vukojević & A Knežević (2014). Potential of *Pleurotus ostreatus* mycelium for selenium absorption. *The Sci World J* 2014, 1-8
- Misrha S, SP Dwivedi & RB Singh (2010). A review on epigenetic effect oh heavy metal carcinogens on human health. *The Open Nutraceutical J* 3,188-193.
- Nogawa K, R Honda, T Kido, I Tsuritani & Y Yamada (2007). Limits to protect people

- eating cadmium in rice based on epidemiological studies. *Environ Health* 21, 431-439.
- Ohkuma M, Y Maeda, T Johjima & T Kudo (2001). Lignin degradation and roles of white rot fungi: Study on an efficient symbiotic system in fungus-growing termites and its application to bioremediation. *RIKEN Focused on Ecomolecular Sci Rev* 42, 39-42.
- Pohan MP, W Denni, JS Sabtando & Asep (2007). Penyelidikan potensi bahan galian pada tailing PT Freeport Indonesia di Kabupaten Mimika, Propinsi Papua. *Dalam: Pros Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2007*. Pusat Sumber Daya Geologi.
- Sing C & Y Jian (1997). Copper adsorption and removal from water by living mycelium of white rot fungi *Phanerochaete chrysosporium*. *Water Res* 32 (9), 157 – 167.
- Singh N & R Gadi (2012). Bioremediation of Ni (II) and Cu (II) from wastewater by the nonliving biomass of *Brevundomonas vesicularis*. *J Environment Chem Ecotoxicol* (8), 137-142.
- Siripong P, B Oraphin, T Sanro & P Duanporn (2009). Screening of fungi from natural sources in Thailand for degradation of polychlorinated hydrocarbons. *American-Eurasian J Agricult & Environment Sci* 5 (4), 466-472.
- Soeprijanto, A Elsony & E Sulistyowati (2005). Kinetika reaksi biosorpsi logam berat Cr (VI) dengan menggunakan biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. *J Teknik Kimia* 4 (1), 183-190.
- Suhendrayatna (2006). *Heavy Metal Bioremoval by Microorganism : A Literature Study*. Institute for Science and Technology Studies-Chapter Japan, page 1 – 3.
- Suprihatin EA (2009). Biosorpsi logam Cu (II) dan Cr (VI) pada limbah elektroplating dengan menggunakan biomassa *Phanerochaete chrysosporium*. *J Teknik Kimia* 4(1), 1-8.
- Tien M & TK Kirk (1984). Lignin degrading enzyme from *Phanerochaete chrysosporium* : purification, characterization and catalytic properties of a unique H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-requiring oxygenase. *In: Proc Natl Acad Sci USA*. 81, 2280-2284.
- Wesenberg D, I Kyriakides & SN Agathos (2003). White-rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents. *Biotechnol Adv* 22, 161–187.
- Wise DL, DJ Trantolo, EJ Cichon, HI Inyang & U Stottmeister (2000). *Bioremediation of Contaminated Soils*. New York, Marcel Dekker Inc.
- Wuyep PA, AG Chuam, S Awodi & AJ Nok (2007). Biosorption of Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, and Pb metals from petroleum refinery effluent by calcium alginate immobilized mycelia. *J Sci Res and Essay* 2 (7), 217-221.