

Pemanfaatan sistem *rotary biological contactor* menggunakan kultur *Omphalina* sp yang diimobilisasi pada tandan kosong kelapa sawit untuk absorpsi logam berat Cu^{2+} dan Hg^{2+}

Utilization of rotary biological contactor system using Omphalina sp immobilized on oil palm empty fruit bunch for absorption of heavy metals Cu^{2+} and Hg^{2+}

Firda DIMAWARNITA^{*)} & TRI-PANJI

Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia, Jl Taman Kencana 1, Bogor 16128, Indonesia

Diterima tgl 10 Maret 2017 / disetujui tgl 3 Oktober 2017

Abstract

Heavy metals such as lead, chromium, cadmium, copper, mercury, and arsenic which are industrial by-products can have negative impact on the environment if they not managed properly. Biosorption is environmentally-friendly waste treatment method. The advantage of biosorption compared to other waste treatment method is ecotechnology, which means effective, cheaper than chemical treatment and environmentally-friendly technology. Using the concept of bioremediation-based on microbial enhanced recovery of metals (MERM) allows the possibility of concentration process (bio-concentration) of metal content through the process of biosorption in microbial cells. The process of bio-concentration potentially to be applied on a commercial scale to increase the recovery of high-value commercial metals. This study aims to absorb Cu^{2+} and Hg^{2+} metals using *Omphalina* sp. cultured on empty fruit bunches (EFB) in rotary biological contactor (RBC) systems. The principle of this technique is waste containing metals was contacted with white rot fungi (WRF) *Omphalina* sp. which is attached to the surface of the media inside a reactor and then the final waste concentration was analyzed. This analysis was using atomic absorption spectrometry (AAS) device to measure the concentration of Cu^{2+} and Hg^{2+} metal ions and Freundlich isothermic equations for calculating maximum absorption power (q_{max}). The highest absorption of Cu^{2+} ion is 0.3304 mg/g and Hg^{2+} is 0.074 mg/g for 6 hours. The adsorption capacity of *Omphalina* sp. for Cu^{2+} and Hg^{2+} solutions based on the Freundlich adsorption equation with maximum adsorption power for Cu^{2+} is 71.911 mg/g and Hg^{2+} is 20.216 mg/g. Biosorbent *Omphalina* sp. can be reused in biosorption process with percentage decrease of Cu^{2+} is 4.30% (4.3 ppm) and Hg^{2+} is 27.80% (1.39 ppm) for 18 hours.

[Key words : biosorption technique, empty fruit bunches, immobilization, rotary biological contactor , white rot fungi-*Omphalina* sp.]

Abstrak

Logam berat seperti timbal, krom, cadmium, tembaga, merkuri, dan arsen yang merupakan hasil samping industri dapat berdampak negatif terhadap lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Biosorpsi merupakan metode pengolahan limbah yang ramah lingkungan. Keunggulan biosorpsi dibandingkan dengan metode pengolahan limbah yang lainnya adalah ekoteknologi yaitu teknologi efektif, murah dan ramah lingkungan. Melalui konsep bioremediasi berbasis *microbial enhanced recovery of metals* (MERM) memungkinkan terjadinya proses pemekatan (bio-konsentrasi) kandungan logam melalui proses biosorpsi dalam sel mikroba. Proses bio-konsentrasi tersebut berpeluang untuk diterapkan dalam skala komersial untuk meningkatkan *recovery* logam bernilai komersial tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengabsorpsi logam Cu^{2+} dan Hg^{2+} menggunakan kultur *Omphalina* sp. pada media TKKS dalam sistem *rotary biological contactor* (RBC). Prinsip teknik ini yaitu limbah yang mengandung logam dikontakkan dengan kultur JPP *Omphalina* sp. yang melekat pada permukaan media di dalam suatu reaktor kemudian konsentrasi limbah akhir dianalisis kandungannya. Analisis ini menggunakan alat spektrometri serapan atom (SSA) untuk mengukur konsentrasi logam Cu^{2+} dan Hg^{2+} dan persamaan isoterm Freundlich untuk menghitung daya absorpsi maksimum (q_{max}). Penyerapan tertinggi ion Cu^{2+} sebesar 0,330 mg/g dan Hg^{2+} sebesar 0,074 mg/g selama 6 jam. Kapasitas adsorpsi *Omphalina* sp. terhadap larutan Cu^{2+} dan Hg^{2+} berdasarkan persamaan adsorpsi Freundlich dengan daya adsorpsi maksimumnya untuk Cu^{2+} sebesar 71,911 mg/g dan untuk Hg^{2+} sebesar 20,216 mg/g. Biosorben *Omphalina* sp. dapat digunakan ulang dalam proses biosorpsi dengan persentase penurunan Cu^{2+} sebesar 4,30% (4,3 ppm) dan Hg^{2+} sebesar 27,80% (1,39 ppm) dalam waktu 18 jam.

[Kata kunci : imobilisasi, jamur pelapuk putih *Omphalina* sp, rotary biological contactor, teknik biosorpsi logam, tandan kosong kelapa sawit.]

Pendahuluan

Pencemaran logam berat seperti timbal, krom, cadmium, tembaga, merkuri, dan arsen yang dihasilkan limbah industri sangat merugikan manusia dan lingkungan (Chergui *et al.*, 2007). Logam berat yang terakumulasi dalam tubuh manusia akan menyebabkan berbagai macam penyakit serius seperti gangguan syaraf otak, ginjal akut, kelainan janin, bahkan dapat menyebabkan kematian (Mawardi, 2007). Namun, tak bisa dipungkiri bahwa perkembangan teknologi dan industri yang semakin pesat telah meningkatkan cemaran logam berat di lingkungan yang berasal dari tambang mineral, pestisida, *toxic xenobiotics*, metal, metalloid, halogenasi dan polisiklik aromatik hidrokarbon (Milovanović, 2014).

Upaya untuk mengurangi konsentrasi logam berat dalam limbah telah banyak dilakukan antara lain dengan cara presipitasi kimia, koagulasi, membran filtrasi, reverse osmosis, pertukaran ion, dan absorpsi (Das, 2005). Biosorpsi merupakan proses absorpsi menggunakan mikroorganisme seperti algae, fungi, dan bakteri sebagai agen sorpsi untuk menghilangkan dan *recovery* logam berat terkandung dalam limbah cair (Ahluwalia & Goyal, 2007; Das *et al.*, 2008). Keunggulan biosorpsi dibandingkan dengan metode lainnya adalah metode ini lebih efektif, murah, dan ramah lingkungan (Busuioc & Carmen, 2013). Teknik bioremediasi berbasis *microbial enhanced recovery of metals* (MERM) memungkinkan terjadinya proses pemekatan (bio-konsentrasi) kandungan logam melalui proses biosorpsi dalam sel mikroba. Proses bio-konsentrasi tersebut berpeluang untuk diterapkan dalam skala komersial untuk meningkatkan pengambilan (*recovery*) logam berkonsentrasi kecil namun bernilai ekonomi tinggi.

Teknik biosorpsi logam berat yang mencemari tanah dengan agen biosorpsi dari jamur pernah dilakukan oleh Garcia *et al.* (2005), sedangkan biosorpsi logam berat dalam sludge dengan jamur dilaporkan oleh Fu & Wang (2011). Penelitian lain mempelajari tentang berbagai jenis jamur yang dapat tumbuh pada kandungan logam berat dengan konsentrasi tinggi dilaporkan oleh Svoboda *et al.* (2000). Kultur jamur pelapuk putih (JPP) *Omphalina* sp. sebagai agen sorpsi yang ditumbuhkan pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS), dalam penelitian sebelumnya diketahui mampu menyerap logam berat Cu^{2+} sebesar 70% dan Hg^{2+} sebesar 90% (Dimawarnita *et al.*, 2015). *Omphalina* sp. ditumbuhkan pada TKKS untuk meningkatkan stabilitas dan viabilitas sel. Menurut Brodelius (1987), imobilisasi akan membuat sel, organel atau enzim yang dapat digunakan mikroba untuk biokonsentrasi bekerja secara terus menerus. *Omphalina* sp. menghasilkan enzim lignolitik ekstraseluler yaitu mangan peroksidase (Mn-P), lignin peroksidase (Li-P), dan lakase yang mampu mendegradasi lignin menjadi CO_2 dan H_2O

(Dimawarnita *et al.*, 2015; Muslimah & Kuswyasari, 2013). Lakase bersama lignin peroksidase berperan penting dalam proses perombakan lignin namun dalam perkembangannya juga berperan dalam degradasi senyawa xenobiotik seperti aromatik polisiklik dan senyawa fenolik (Lim'on-Pacheco & Gonsebatt, 2009).

Penelitian lanjut penggunaan *Omphalina* sp. untuk biosorpsi logam berat adalah mengembangkan teknik aplikasinya untuk memudahkan dalam penerapannya di lapang pada masa yang akan datang. Teknik aplikasi biosorpsi logam berat pada limbah cair dapat dilakukan antara lain dengan teknik *feed-batch*, *batch*, *packed-batch*, dan *rotary biological contactor* (RBC). Teknik RBC pada prinsipnya adalah teknik penurunan kandungan logam berat oleh agen mikroba imobil yang ditempatkan dalam keranjang silinder yang berputar pada porosnya dalam suatu bak reaktor berisi cairan limbah. Kontak antara mikroba imobil dalam tabung silinder berputar dengan limbah akan terjadi aerasi dan sekaligus penyerapan logam berat secara kontinu. Penelitian ini bertujuan mengetahui kemampuan kultur *Omphalina* sp. dalam TKKS untuk biosorpsi logam Cu^{2+} dan Hg^{2+} yang diaplikasikan dengan teknik RBC.

Bahan dan Metode

Kultur *Omphalina* sp.

Omphalina sp. yang digunakan merupakan koleksi PPBBI dan dipelihara dalam PDA miring. Untuk mempersiapkan inokulum, *Omphalina* sp. mula-mula ditumbuhkan dalam cawan Petri berisi media PDA dan diinkubasikan pada suhu ruang 27-30 °C selama 2 minggu. Miselium *Omphalina* sp. kemudian dipindahkan ke media beras (40 g) dan diinkubasi pada suhu yang sama selama 14-20 hari hingga seluruh permukaan media beras terkolonisasi miselium. Miselium dalam media beras tersebut selanjutnya digunakan sebagai sumber inokulum. Inokulum (10 g) ditumbuhkan pada biomassa TKKS (200 g) yang telah dicuci dan dipotong halus dengan ukuran 5 cm dan disterilkan pada suhu 121°C selama 15 menit. Kultur ditumbuhkan pada suhu ruang 27-30°C selama 4 minggu. Miselium *Omphalina* sp. akan tumbuh dan terikat kuat pada permukaan serat-serat dan mikro fibril TKKS membentuk jalinan yang tidak mudah tercuci (*wash out*) oleh aliran larutan. Kultur *Omphalina* sp. akan mempermudah penyerapan nutrisi dan ion logam.

Teknik RBC

Teknik RBC dilakukan dengan alat berupa keranjang plastik berbentuk silinder dengan diameter 15 cm, tinggi 25 cm yang permukaannya dilengkapi dengan baling-baling yang dapat diputar pada porosnya. Keranjang silinder tersebut diisi dengan formula kultur *Omphalina* sp. sebanyak 10 g dan ditempatkan dalam suatu bak reaktor berkapasitas 10L (Gambar 1). Larutan

logam dialirkan dengan pompa pada permukaan baling-baling sehingga keranjang berisi formula kultur *Omphalina* sp. akan berputar dengan kecepatan 100 putaran/menit. Larutan Cu^{2+} dan Hg^{2+} sebagai limbah sintetik masing-masing diatur dengan konsentrasi awal 100 mg/L untuk logam Cu^{2+} dan 5 ppm untuk logam Hg^{2+} diatur pada pH 4. Analisa kandungan logam berat Cu^{2+} dan Hg^{2+} sebelum dan selama biosorpsi diamati pada alat RBC tersebut pada jam ke 1, 2, 4, 6, 8, dan 10 menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA) Penurunan kandungan logam dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\alpha_s = (1 - C_s/C_o) \times 100\%$$

α_s = persentase penurunan logam
 C_s = konsentrasi akhir logam (mg/l)
 C_o = konsentrasi awal logam (mg/l)

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)
 C_s = konsentrasi akhir logam (mg/l)
 C_o = konsentrasi awal logam (mg/l)
 m = berat biosorben kering (mg)

Perhitungan absorpsi zat terlarut

Absorpsi zat terlarut pada padatan sorben dilakukan berdasarkan persamaan isoterm sorpsi menurut Freundlich sebagai berikut:

$$\frac{X_m}{m} = k \cdot C^n \quad (1)$$

$$\text{Log} \left(\frac{X_m}{m} \right) = \log k + \frac{1}{n} \log C \quad (2)$$

makna simbol:

X_m = serapan logam dalam biosorben (mg/gram sorben)
 m = berat sorben (gram)
 C = konsentrasi zat (mg/liter)
 k = kapasitas serapan maksimum (mg/gram sorben)
 n = konstanta Freundlich

Nilai k dan n adalah konstanta sorpsi yang nilainya bergantung pada jenis sorben dan suhu absorpsi. Bila dibuat kurva $\log (X_m/m)$ terhadap $\log C$ akan diperoleh persamaan linear dengan intersep $\log k$ dan kemiringan $1/n$, sehingga nilai k dan n dapat dihitung.

Hasil dan Pembahasan

Preparasi Biosorben

Jamur *Omphalina* sp. yang digunakan sebagai biosorben dalam penelitian ini merupakan koleksi isolat jamur pelapuk putih dari Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri, Bogor.

Kultur murni *Omphalina* sp. dari media agar miring, terlebih dahulu dipreparasi untuk

mendapatkan isolat unggul untuk kemudian diimobilisasi pada tandan kosong kelapa sawit. Kultur murni *Omphalina* sp. diremajakan dalam media *Potato Dextrose Agar* (PDA) (Gambar 2) selama 5 hari masa inkubasi pada suhu ruang (27°C). Isolat *Omphalina* sp. secara makroskopis memiliki ciri-ciri pada permukaan miselium berwarna putih bersih, berserat seperti kapas, dan tidak menggumpal. Isolat inilah yang nantinya akan diimobilisasi pada TKKS dan mengabsorpsi logam Cu^{2+} dan Hg^{2+} .

Imobilisasi *Omphalina* sp. dengan Tandan Kosong Kelapa Sawit

Proses imobilisasi *Omphalina* sp. Dengan TKKS bertujuan untuk menyangga jamur dan memadatkannya dalam sebuah zat pendukung inert. *Omphalina* sp. diinokulasi bersama TKKS dan dedak padi dengan konsentrasi 10% yang berfungsi juga sebagai media dan suplai nutrisi selama proses imobilisasi berlangsung dalam plastik tahan panas (baglog). Baglog dibiarkan untuk pembiakan selanjutnya sampai terbentuk lapisan dari *Omphalina* sp. yang terlihat jelas pada permukaan zat pendukung (Gambar 3).



Gambar 1. Sistem aplikasi kultur *Omphalina* sp. dalam media TKKS dengan alat rotary biological contactor (RBC)

Figure 1. Application system of *Omphalina* sp. cultured in EFB of oil palm media with rotary biological contactor (RBC)



Gambar 2. Miselium *Omphalina* sp. pada media *Potato Dextrose Agar*.

Figure 2. The miselium of *Omphalina* sp. in *Potato Dextrose Agar*.

TKKS memiliki struktur lignin yang kuat, sehingga kemampuan isolat *Omphalina* sp. unggul sangat diperlukan untuk mempertahankan pertumbuhan jamur selama proses imobilisasi. Lignin pada TKKS akan diurai oleh enzim lignolitik *Omphalina* sp. menjadi senyawa sederhana untuk mendapatkan suplai karbon yang diperlukan bagi jamur sebagai sumber energi dalam proses pertumbuhan. Proses imobilisasi berlangsung dalam plastik tahan panas yang telah disterilisasi (baglog), hal ini bertujuan untuk mencegah kontaminasi mikroorganisme yang memperlambat proses. Baglog kemudian diinkubasi dalam suhu ruang hangat (30°C), hal ini dilakukan untuk mengembalikan faktor pertumbuhan jamur yang disesuaikan terhadap keadaan habitat jamur pelapuk putih di lingkungan bebas.

Mekanisme biosorpsi ion-ion logam

Proses biosorpsi ion Cu^{2+} menggunakan *Omphalina* sp. merupakan proses penyerapan yang bersifat aktif untuk kepentingan metabolisme sel dan pasif yaitu terserap pada dinding sel miselium jamur (Patil & Kulkarni, 2016). Sedangkan, biosorpsi ion logam Hg^{2+} cenderung penyerapannya bersifat pasif karena ion Hg^{2+} bukan merupakan sumber mineral bagi metabolisme jamur secara umum dan tidak merupakan kofaktor enzim tertentu. Ion logam akan diserap ke dalam membran sel yang bergantung pada aktivitas metabolisme sel dan penyerapan intraseluler. Penyerapan ion logam pada permukaan sel terjadi karena adanya interaksi antara ion logam dengan gugus fungsi, seperti karbohidrat, hidroksi, sulfat, fosfat, dan amino yang terjadi melalui pertukaran ion dan adsorpsi secara fisik. Pertukaran ion juga merupakan salah satu cara yang digunakan oleh jamur untuk dapat menyerap logam, sehingga terjadi penyerapan yang cepat pada periode

pertama. Proses ini terjadi karena adanya pertukaran ion-ion mono ataupun divalen pada dinding sel jamur seperti Na, Mg, dan Ca, digantikan oleh ion-ion logam berat (Dimawarnita *et al*, 2015). Mekanisme pertukaran ion dapat dilihat pada Gambar 4.

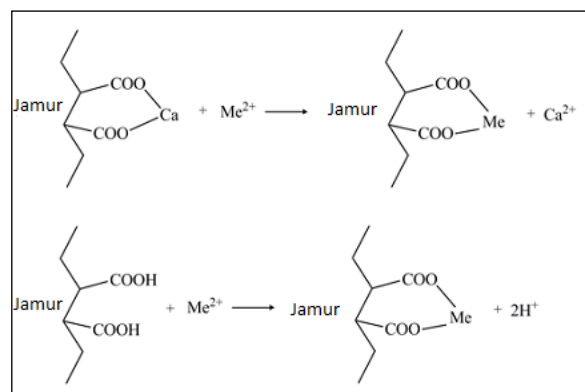
Alat yang digunakan untuk mempermudah proses biosorpsi logam adalah alat RBC. Cairan limbah yang dipompa menyebabkan *rotary* berputar dan cairan limbah logam melewati formula yang berisi *Omphalina* sp. yang mengakibatkan terjadinya penyerapan logam. Perputaran dari formula menyebabkan adanya aerasi pada formula tersebut hingga dapat memperluas bidang penyerapan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kultur *Omphalina* sp. efektif untuk penyerapan ion logam Cu^{2+} yang dapat dilihat dari penurunan konsentrasi kadar ion logam Cu^{2+} (Gambar 5). Penurunan ion logam Cu^{2+} berlangsung dengan cepat sampai dengan waktu kontak 4 jam kemudian sedikit menurun pada waktu kontak 6 jam. Penurunan terbesar terjadi pada jam ke-6 yaitu konsentrasi penurunan kandungan ion logam Cu^{2+} mencapai 83,48 ppm dengan penyerapan pada biosorben 0,3304 mg/L (Gambar 6). Melekatnya *Omphalina* sp. pada permukaan media yang berputar akan menyerap logam-logam berat dalam larutan serta mengambil oksigen terlarut dalam air dan dari udara untuk proses metabolismenya, sehingga kandungan ion logam berat dalam larutan akan berkurang. Pertukaran ion juga merupakan salah satu cara yang digunakan oleh jamur untuk dapat menyerap logam, sehingga terjadi penyerapan yang cepat pada periode pertama. Proses ini terjadi karena adanya pertukaran ion-ion mono ataupun divalen pada dinding sel jamur seperti Na, Mg, dan Ca, digantikan oleh ion-ion logam berat (Dimawarnita *et al*, 2015).



Gambar 3. Media *Omphalina* sp. pada Baglog TKKS

Figure 3. *The medium of Omphalina sp. in Baglog TKKS.*



Gambar 4. Mekanisme pertukaran ion pada jamur (Wesenberg *et al.*, 2003)

Figure 4. *The mechanism of ion exchange in the fungi (Wesenberg et al., 2003).*

Semakin lama waktu kontak hingga jam ke-6 maka semakin naik jumlah ion Cu^{2+} yang terserap pada biosorben namun waktu perpanjangan waktu kontak menyebabkan penyerapan berikutnya relatif menurun. Hal ini disebabkan biosorben sudah mulai jenuh dan titik optimal penyerapan terjadi pada waktu 6 jam. Permukaan biosorben yang sudah mulai jenuh dan tertutup partikel logam berat akan menghambat proses biosorpsi pada waktu berikutnya.

Pola absorpsi Hg berlangsung mirip dengan penyerapan Cu. Semakin lama waktu kontak maka semakin menurun kandungan ion logam Hg^{2+} . Penurunan konsentrasi ion Hg tertinggi terjadi pada waktu kontak 6 jam. Konsentrasi ion logam turun dengan cepat sejalan dengan penambahan waktu. Pada waktu 6 jam konsentrasi ion logam Hg^{2+} mencapai 1,32 ppm dan serapan ion logam Hg^{2+} dalam biosorben mencapai 0,074 mg/g (Gambar 7) sedangkan pada jam berikutnya persentase penyerapan menurun dikarenakan terjadinya kejenuhan pada *Omphalina* sp. Berdasarkan hasil percobaan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa waktu maksimal penyerapan ion logam Hg^{2+} yaitu pada waktu kontak 6 jam (Gambar 7 dan 8).

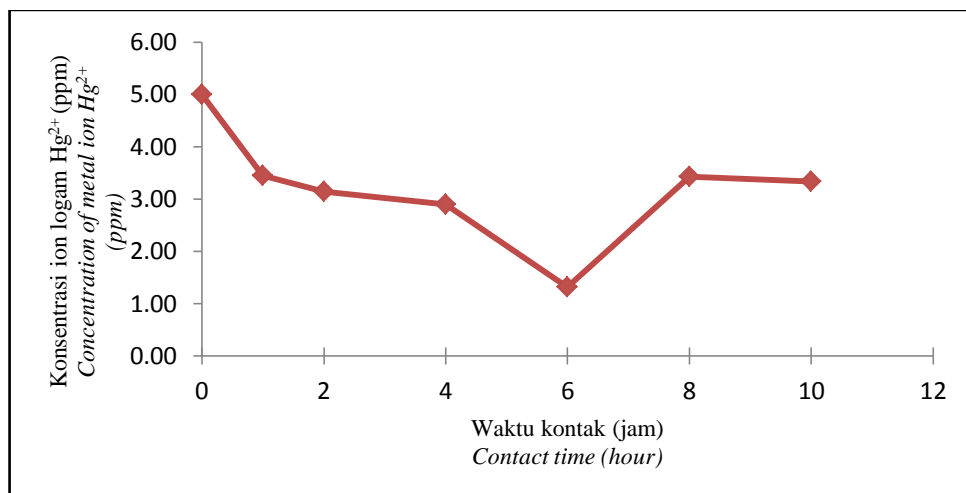
Serapan ion logam Cu^{2+} dan Hg^{2+} pada teknik RBC optimum pada waktu kontak jam ke 6. Persentase penurunan logam Cu^{2+} tertinggi sebanyak 14% dan untuk logam Hg^{2+} sebanyak

85% (Gambar 8). Hal ini menunjukkan bahwa *Omphalina* sp. efektif digunakan untuk biosorpsi logam berat baik Cu^{2+} maupun Hg^{2+} . Persentase penurunan pada Hg lebih besar karena konsentrasi Hg^{2+} lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi Cu^{2+} sehingga daya sorpsi *Omphalina* sp. juga cepat.



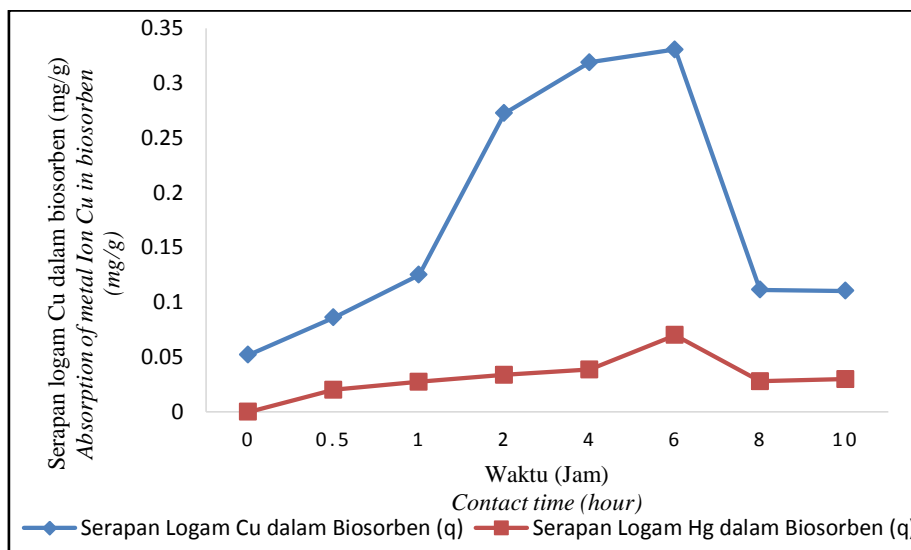
Gambar 5. Konsentrasi ion logam Cu^{2+} pada TKKS dengan kultur *Omphalina* sp. menggunakan teknik RBC

Figure 5. Concentration metal ion Cu^{2+} on EFB with *Omphalina* sp. immobilized using RBC System



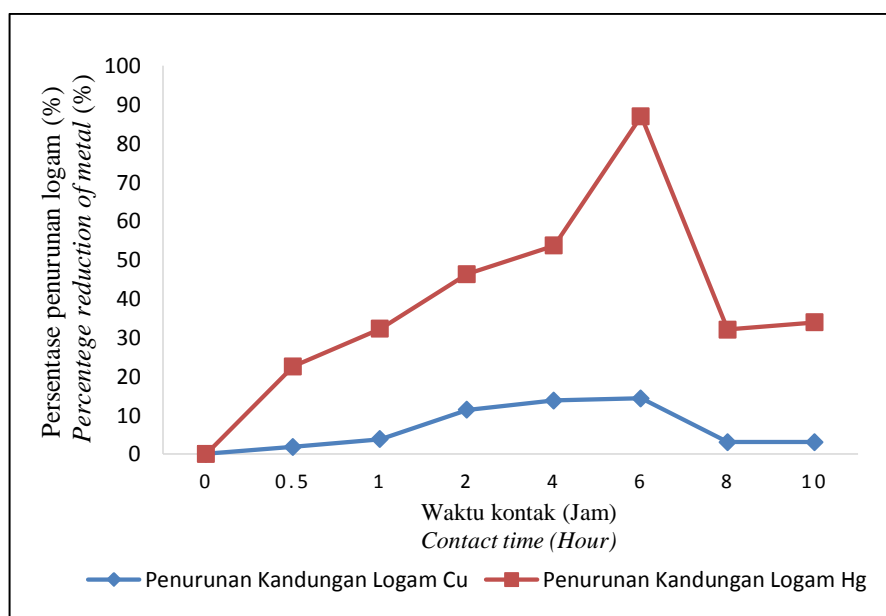
Gambar 6. Konsentrasi ion logam Hg^{2+} pada TKKS dengan kultur *Omphalina* sp. Pada TKKS dengan teknik RBC

Figure 6. Concentration metal ion Hg^{2+} on EFB with *Omphalina* sp. cultured in OPEFB immobilized using RBC System



Gambar 7. Serapan Ion Logam Cu²⁺ dan Hg²⁺ dalam jamur pelapuk putih kultur *Omphalina* sp. pada TKKS menggunakan RBC

Figure 7. The absorption of metal ion Cu²⁺ and Hg²⁺ in the white rot fungi *Omphalina* sp. cultured in EFB using RBC



Gambar 8. Persentase penurunan ion logam Cu²⁺ dan Hg²⁺ dalam kultur *Omphalina* sp. pada TKKS menggunakan teknik RBC

Figure 8. Percentage reduction of metal ion Cu²⁺ dan Hg²⁺ in the white rot fungi *Omphalina* sp. cultured in EFB immobilized using RBC

Serapan maksimum (q_{maks}) Omphalina sp. pada persamaan freundlich

Serapan maksimum dihitung dengan menggunakan persamaan sorpsi Freundlich. Kapasitas maksimum penyerapan berbeda-beda, tergantung dari banyaknya biomassa dan besarnya konsentrasi larutan yang digunakan. Persamaan isoterm sorpsi Freundlich dihitung dengan mula-mula menentukan persamaan linear Freundlich. Persamaan tersebut didapat dari plot grafik antara Log X_m/m vs Log C_e sehingga akan didapatkan persamaan linear untuk Cu²⁺ adalah y = -0,09x+1,8568 (Gambar 9) dengan nilai regresi R²

sebesar 0,9468 (mendekati 1). Sedangkan pada Hg²⁺ persamaan linearnya adalah y = -1,0289x-1,3057 (Gambar 10) dengan nilai regresi R² sebesar 0,9061, nilai k dan n nya dapat dihitung dari persamaan linear tersebut (Tabel 1).

Berdasarkan perhitungan isoterm Freundlich, nilai konstanta kesetimbangan n untuk Cu²⁺ adalah -11,11 sedangkan untuk Hg²⁺ adalah -0,97. Kedua biosorpsi logam tersebut memiliki n<1 yang berarti terserap secara kimia. Hal tersebut sesuai dengan dugaan awal bahwa dalam biosorpsi Cu²⁺ dan Hg²⁺ dengan *Omphalina* sp. immobil terjadi reaksi pertukaran ion. Kapasitas

serapan maksimum (K) atau q maks untuk Cu^{2+} adalah 71,911 mg/g lebih besar dibandingkan dengan serapan maksimum untuk Hg^{2+} yaitu 20,216 mg/g (Tabel 1). Hal tersebut dapat dipahami karena Hg^{2+} lebih toksik dari pada Cu^{2+} , dan Cu^{2+} juga merupakan logam esensial yang antara lain berperan sebagai kofaktor enzim lakase *Omphalina* sp. Hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa *Omphalina* sp. mampu tumbuh dengan bagus pada kadar Cu^{2+} yang tinggi (100-300 mg/L), sedangkan pada Hg^{2+} maksimum hanya 5 mg/L. Dari data percobaan menunjukkan bahwa daya sorpsi *Omphalina* sp. masih dibawah kapasitas maksimumnya sehingga jamur tersebut masih berpotensi untuk bisa digunakan ulang (*reuse*).

Jamur *Omphalina* sp. yang ditumbuhkan pada media TKKS menyebabkan permukaannya tidak homogen pada setiap sisi TKKS. Model persamaan Freundlich mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (multilayer) dan sisi bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikat pada tiap-tiap sisi dimana proses adsorpsi di tiap-tiap sisinya mengikuti persamaan tersebut (Handayani, 2009; Kotbra, 2011). Serapan maksimum yang dihasilkan menunjukkan bahwa daya adsorpsi *Omphalina* sp. masih cukup tinggi terhadap logam Cu^{2+} dan Hg^{2+} sehingga jamur tersebut masih berpotensi untuk bisa digunakan ulang (*Reuse*).

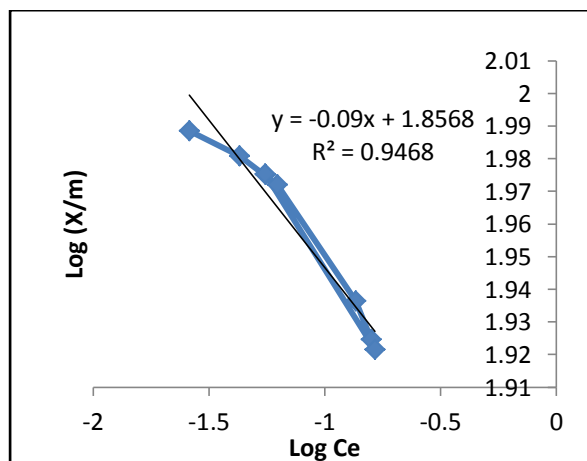
Serapan ion logam Cu^{2+} mencapai 71,911 mg/g dan serapan ion logam Hg^{2+} yaitu 20,216 mg/g (Tabel 1). Hasil perhitungan isoterm sorpsi Freundlich menunjukkan serapan maksimum logam lebih tinggi Cu^{2+} karena konsentrasi Cu^{2+} yang digunakan lebih tinggi konsentrasinya dibandingkan dengan Hg^{2+} serta Hg^{2+} lebih bersifat toksik dibandingkan dengan Cu^{2+}

sehingga mempengaruhi daya adsorpsinya. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa *Omphalina* sp. mampu tumbuh dengan bagus pada kadar Cu^{2+} yang tinggi berkisar 100-300 ppm sedangkan pada Hg maksimum hanya 5 ppm.

Penggunaan ulang jamur pelapuk putih Omphalina sp. (reuse)

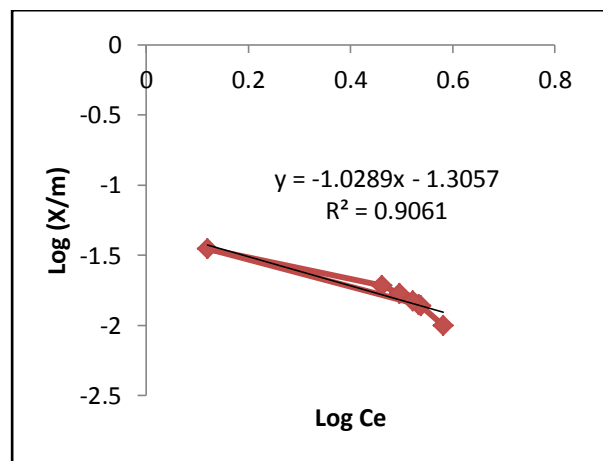
Biosorben harus dapat digunakan berkali-kali untuk mengurangi biaya (Suharyanto, 2014). Penggunaan ulang *Omphalina* sp pada larutan logam baru dilakukan sampai dua kali penggunaan dan tetap terjadi penyerapan, dilihat dari persentase penyerapan jamur *Omphalina* sp. (Tabel 2 dan 3). Hal ini menunjukkan bahwa *Omphalina* sp. dapat digunakan secara berulang menggunakan limbah yang baru sehingga dapat mengefesienkan menggunakan jamur *Omphalina* sp dalam pengolahan limbah. Masih adanya biomassa jamur yang hidup setelah penggunaan pada siklus pertama, menandakan biosorben masih berpotensi untuk menyerap ion-ion logam. Akan tetapi tidak hanya biomassa yang masih hidup saja yang dapat digunakan sebagai biosorben untuk menyerap ion-ion logam, biomassa yang sudah matipun dapat digunakan untuk menyerap ion-ion dalam larutan (Javaid *et al.*, 2011).

Pada penggunaan ulang proses penyerapan terjadi penurunan karena sudah menggunakan jamur *Omphalina* sp. Penurunan aktivitas metabolisme dan kejenuhan dari pori-pori sel dan gugus fungsi, nilai dari persen penyerapan menunjukkan *Omphalina* sp. masih dapat menyerap ion logam berat. Persen penyerapan ion logam Hg^{2+} sebesar 26,71 % dan penyerapan pada ion logam Cu^{2+} sebesar 2,75% dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.



Gambar 9. Persamaan linear Freundlich pada ion logam Cu^{2+} .

Figure 9. The linear equation of Freundlich on metal ion Cu^{2+} .



Gambar 10. Persamaan linear Freundlich pada ion logam Hg^{2+} .

Figure 10. The linear equation of Freundlich on metal ion Hg^{2+} .

Tabel 1. Hasil perhitungan isoterm absorpsi Freundlich logam berat Cu²⁺ dan Hg²⁺

Tabel 1. The results of calculation adsorption isotherms Freundlich heavy metal Cu²⁺ and Hg²⁺

Ion logam/ Metal ion	R ²	Persamaan Linear/ Linear equation	q maks/ q max (mg/g)	Konstanta Freundlich/ Freundlich constantan
Cu ²⁺	0.9468	y = -0,09x+1,8568	71,911	-11,11
Hg ²⁺	0.9061	y = -1,0289x-1,3057	20,216	-0,97

Tabel 2. Persentase penurunan kandungan ion logam Cu²⁺ pada penggunaan ulang *Omphalina* sp.

Tabel 2. The percentage decrease content of metal ioion Cu²⁺ on reuse *Omphalina* sp.

Waktu (t)/ Time	Konsentrasi awal logam/ Initial concentratioin of metal (Co)	Konsentrasi akhir logam/ Final concentratioin of metal (Cs)	Persentase penurunan logam/ Percentage decrease of metal(as)
Penggunaan pertama/ first used	100ppm	84,06 ppm	15,94 %
Penggunaan ulang/ reuse	100 ppm	95,70 ppm	4,30 %

Tabel 3. Persentase penurunan kandungan ion logam Hg²⁺ pada penggunaan ulang *Omphalina* sp.

Tabel 3. The percentage reduction of metal content of Hg²⁺ ion on reuse *Omphalina* sp.

Waktu (t)/ Time	Konsentrasi awal logam/ Initial concentratioin of metal (Co)	Konsentrasi akhir logam/ Final concentration of metal (Cs)	Persentase penurunan logam/ Percentage decrease of metal (as)
Penggunaan pertama/ first used	5 ppm	2,90 ppm	42,08 %
Penggunaan ulang/ reuse	5 ppm	3,61 ppm	27,80 %

Faktor yang mempengaruhi proses biosorpsi adalah konsentrasi ion logam, suhu, pH, dan konsentrasi biomassa (Das *et al.*, 2008). Penelitian serupa menggunakan *Pleurotus ostreatus* untuk menyerap logam Cu²⁺ terjadi penurunan konsentrasi logam yang sangat tajam pada 15-120 menit pertama. Hasil ini sejalan dengan penelitian dengan *Omphalina* sp. (Gambar 7) yang menunjukkan waktu serapan berlangsung cepat pada 1-2 jam pertama. Serapan berlangsung cepat pada jam pertama dan kedua karena permukaan jamur masih belum terpenyerap ion logam. Lalu dilanjutkan penyerapan lambat karena transportasi membran ion logam ke dalam sitoplasma sel atau lambatnya difusi intraseluler (Javaid *et al.*, 2011).

Penelitian yang lainnya menggunakan *Aspergillus flavus* untuk biosorpsi Cu²⁺ memiliki waktu optimum 15-120 menit (Iskandar *et al.* 2011). Ikatan ion logam dipengaruhi gugus fungsional yang berada di permukaan jamur, mula-mula dengan cepat ion logam akan berikatan dengan sisi negatif dari dinding sel jamur (Say *et al.*, 2007). Hasil ini lebih rendah daripada biosorpsi menggunakan *M. rouxi* dengan konsentrasi awal 100 ppm dan setelah 7 jam menjadi 20 ppm (80 %) (Victor *et al.* 2012). Semakin tinggi konsentrasi ion logam maka

efisiensi penyerapan biomassa akan semakin rendah. Hal itu dikarenakan peningkatan jumlah ion logam semakin meningkat untuk dapat berikatan dengan biomassa dan kurangnya sisi kompleksitas dari biomassa untuk mengikat seluruh ion logam (Ranjusha *et al.*, 2010).

Biosorpsi menggunakan rotary biological contactor

Biosorpsi larutan logam menggunakan teknik RBC memiliki keefektifan yang baik karena *Omphalina* sp merupakan organisme aerob (Suharyanto *et al.*, 2014) sehingga untuk kelangsungan hidupnya *Omphalina* sp memerlukan oksigen. Metode RBC membuat oksigen lebih banyak dapat terserap oleh *Omphalina* sp. sehingga *Omphalina* sp masih dapat hidup dan diharapkan biomassa bertambah banyak. Semakin banyak biomassa maka serapan logam akan semakin optimum (Victor *et al.*, 2012).

Mahluk hidup memiliki perbedaan dalam bertahan hidup di lingkungan toksik. *Omphalina* sp. mampu bertahan hidup pada lingkungan yang tercemar oleh limbah tertentu misalnya, pada konsentrasi Cu²⁺ 300 ppm dan Hg²⁺ 5 ppm *Omphalina* masih dapat hidup (Dimawarnita *et al.*, 2015). Hal itu menandakan pada konsentrasi

Cu²⁺ 300 ppm dan Hg²⁺ 5 ppm, belum mempengaruhi metabolisme dari *Omphalina* sp. Jamur merupakan organisme aerob (Suprihatin *et al.* pH rendah (berkisar antara 4-9), media yang tinggi karbohidrat dan selulosa, pada suhu optimum 39 °C, dan kelembaban udara yang cukup berkisar antara 70-80% (Suprihatin 2009, Soeprijanto *et al.* 2007).

Kesimpulan

Teknik *Rotary Biological Contactor (RBC)* dapat digunakan untuk biosorpsi ion logam Cu²⁺ dan Hg²⁺ dengan kultur *Omphalina* sp. pada TKKS. Penyerapan tertinggi ion Cu²⁺ sebesar 0,3304 mg/g dan Hg²⁺ sebesar 0,074 mg/g selama 6 jam. Penentuan kapasitas adsorpsi *Omphalina* sp. terhadap larutan Cu²⁺ dan Hg²⁺ dengan menggunakan persamaan adsorpsi Freundlich dengan daya adsorpsi maksimumnya untuk Cu²⁺ sebesar 71,911 mg/g dan untuk Hg²⁺ sebesar 20,216 mg/g. Biosorben *Omphalina* sp. dapat digunakan ulang dalam proses biosorpsi dengan persentase penurunan Cu²⁺ sebesar 4,30% dan Hg²⁺ sebesar 27,80%.

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: 44.87/HM.230/I.1/3/2015 Tanggal 5 Maret 2015. Peneliti mengucapkan terima kasih atas kepercayaan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian mendanai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Ahluwalia SS & Goyal D (2007). Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from waste water. *Bioresourch Technol* 98, 2243-2257.
- Bordelius P (1987). Stress induced metabolism in plant cell cultures. In: Pais MSS, Mavutina F, Novias JM, NATO ASI Series (eds), *Plant Cell Biotechnology*. Springer-Verlag. Pp.195-210.
- Busuioc G & Carmen CE (2013). Responce of four russula species under copper sulphate and lead acetate treatments. *Not Bot Horti Agrobi* 41(2), 538-545.
- Chergui A, MZ Bakhti, A Chahboub, S Haddoum, A Selatnia & GA Unter (2007). Simultaneous biosorption of Cu²⁺, Zn²⁺, and Cr⁶⁺, from aqueous solution by *Streptomyces risomus*. *Desalination. Elsevier*. 206, 179-184.
- Das N (2005). Heavy metals biosorption by mushrooms. *Natural product radiance*. p 454-458.
- al., 2009), sehingga aktivitas biologisnya juga dipengaruhi oleh adanya oksigen dalam lingkungan. *Omphalina* sp. dapat tumbuh pada Das N, R Vimala & P Karthika (2008). Biosorption of heavy metals-An overview. *Indian journal of Biotechnology* 7, 159-169.
- Dimawarnita F, Suharyanto, Tri Panji, Ahmad Z & Nur R (2015). Biosorpsi ion tembaga dalam limbah *tailing* menggunakan jamur pelapuk putih amobil. *Menara Perkebunan* 83(1), 27-36.
- Fu F & Wang Q (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management* 92, 407-418.
- García M, Alonso J & Melgar M (2005). *Agaricus macrosporus* as a potential bioremediation agent for substrates contaminated with heavy metals. *J Chem Technol Biotechnol* 80, 325-330.
- Handayani M & Eko S (2009). Uji persamaan langmuir dan freundlich pada penyerapan limbah chrom (VI) oleh zeolit. In: *Prosiding Seminar Nasional Sains dan teknologi Nuklir*. Bandung, 3 Juni 2009, halaman: 130-136.
- Iskandar NY, Nur Ain I, Moh Zainudin & Soon GT (2011). Tolerance and biosorption of copper (Cu) and lead (Pb) by filamentous fungi isolated from freshwater ecosystem. *Journal of Environmental Sciences* 23(5), 824-830.
- Javaid A, Badar T & Aslam N (2011). Removal of Pb(II), Cu(II) & Cd(II) from aqueous solution by some fungi and natural adsorbents in single & multiple metal systems. *Pak J Bot*. 43, 2997-3000.
- Kotrba P (2011). Microbial biosorption of metals—General Introduction. In *Microbial biosorption of metals* (pp. 1-6). Springer Netherlands.
- Lim´on-Pacheco J & ME Gonsebatt (2009). The role of antioxidants and antioxidant- related enzymes in protective responses to environmentally induced oxidative stress. *Mutation Research. Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 674(1-2), 137–147.
- Mawardi (2007). Kajian biosorpsi ion-ion logam berat oleh biomassa alga hijau *Spirogyra subsalsa*. Program Studi Ilmu Kimia [Disertasi] Depok, Universitas Indonesia.
- Milovanović I, I Brčeski, M Stajić, A Korać, J Vukojević & A Knežević (2014). Potential of *Pleurotus ostreatus* mycelium for selenium absorption. *The Scientific World Journal*. 2014 (1), 1-8.
- Muslimah S & Kuswytasari ND (2013). Potensi basidiomycetes koleksi biologi ITS sebagai

- agen biodekolorisasi zat warna RBBR. *Jurnal Sains dan Seni Pomits* 2 (1), 2337-3520.
- Patil, M.S and Kulkarni M.V. 2016. Investigations on biosorption of colorants in distillery spent wash by nonviable *Aspergillus oryzae* MTCC 7691: kinetics and Isotherm studies. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(1) 925-935.
- Ranjusha VP, Reena P, Kapil K, MG Dastidar & TR Sreekrishnan (2010). Biosorption of remazol black B dye (azo dye) by the growing *Aspergillus flavus*. *Journal of Environmental Science and Health* 45(10), 1256-1263.
- Say R, Yilmaz N & Denizli A (2007). Biosorption of cadmium, lead, mercury, and arsenic ions by the fungus *Penicillium purpurogenum*. *Separation Science and Technology*. 38(9), 2039-2053.
- Soeprijanto, Aryanto B & Fabella R (2007). Biosorpsi ion logam berat Cu (II) dalam larutan menggunakan biomassa *Phanerochaete chrysosporium*. *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*. 6(1), 61-67.
- Suharyanto (2014). Teknik penanganan limbah tailing menggunakan *Omphalina* sp. dengan berbagai metode (rotary biological contactor, packed bed, continue). Bogor: Laporan internal penelitian KKP3N.
- Suprihatin & Erik A (2009). Biosorpsi logam Cu (II) dan Cr (VI) pada limbah elektroplating dengan menggunakan biomassa *Phanerochaete chrysosporium*. *Jurnal Teknik Kimia*. 4(1), 250-254.
- Svoboda L, Zimmermannova K & Kalač P (2000). Concentrations of mercury, cadmium, lead and copper in fruiting bodies of edible mushrooms in an emission area of a copper smelter and a mercury smelter. *Sci Total Environ* 246,61-67.
- Victor M, Juan F, Maria ET, Ismail AR (2012). Biosorption of mercury (II) from aqueous solutions onto fungal biomass. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. 3 (1), 1-5.
- Zabowski D, Zasoski RJ, Littke W, Ammirati J (1990). Metal content of fungal sporocarps from urban, rural and sludge-treated sites. *J Environ Qual* 19(3), 372-377.