

KAPASITAS BIOSORPSI JAMUR TIRAM PUTIH (*Pleurotus ostreatus*) TERHADAP LOGAM KROM Dalam LIMBAH CAIR PENYAMAKAN KULIT

Oleh:

Saefudin, Tina Safaria N., Rini Solihat, dan Dicky Rahmansyah

Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA
Universitas Pendidikan Indonesia

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai penggunaan biomasa jamur *Pleurotus ostreatus* dalam penyerapan logam krom dari larutan limbah cair penyamakan kulit melalui proses biosorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan biomassa yang berbeda-beda terhadap kapasitas biosorpsi logam krom oleh jamur *Pleurotus ostreatus* pada limbah cair penyamakan kulit. Parameter yang diukur yaitu banyaknya serapan ion logam (q) untuk tiap gram biomassa yang digunakan. Enam variasi biomassa kering dari jamur *Pleurotus ostreatus* yaitu (0,04) g; (0,08) g; (0,12) g; (0,16) g; (0,20) g; (0,24) g dalam bentuk serbuk dicampurkan kedalam 0,25 L larutan limbah penyamakan kulit. Untuk pH larutan diatur hingga pH 5 dan waktu kontak penelitian yang digunakan adalah 80 menit berdasarkan hasil pra-penelitian. Konsentrasi larutan krom sebelum dan setelah perlakuan ditentukan dengan metoda AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*). Konsentrasi logam krom sebelum perlakuan adalah 297,5 mg/L dan setelah proses pengontakan dengan biomassa jamur *Pleurotus ostreatus* kadar logam krom dalam larutan limbah dapat terserap hingga kisaran 73%-80%. Serapan ion logam tertinggi terjadi pada biomassa perlakuan 0,04 gram yaitu sebesar $148,83 \pm 2,58$ mg/g dan terendah pada biomassa perlakuan 0,24 gram yaitu sebesar $22,75 \pm 0,62$ mg/g. Kapasitas biosorpsi maksimum dari jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) terjadi pada konsentrasi biomassa yang rendah dan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan konsentrasi biomassa yang digunakan.

Kata kunci : *Pleurotus ostreatus*, kapasitas biosorpsi/serapan ion logam, krom (Cr).

PENDAHULUAN

Pembangunan yang pesat di bidang industri telah meningkatkan kualitas hidup manusia. Tidak hanya industri besar saja, tetapi industri-industri kecil dan menengah sekarang ini juga sudah mulai menunjukkan tanda-tanda kebangkitan. Kemajuan dunia industri ini di sisi lain dapat berakibat buruk terhadap kondisi lingkungan akibat adanya pencemaran yang berasal dari limbah industri yang pada akhirnya akan mempengaruhi kehidupan manusia. Terjadinya pencemaran lingkungan oleh limbah industri ini dikarenakan kurang memadainya atau bahkan

tidak ada sama sekali sarana dan prasarana untuk menangani dan mengelola limbah hasil buangan industri tersebut.

Industri penyamakan kulit di Sukaregang Garut juga memiliki permasalahan yang sama. Limbah hasil proses penyamakan kulit langsung dibuang ke Sungai Ciwalen tanpa melalui proses pengolahan limbah terlebih dahulu. Masuknya limbah cair ke dalam badan air akan menyebabkan penurunan kualitas air sungai dan pencemaran yang berbahaya bagi organisme akuatik di perairan tersebut (Nurwitakapti, 2005). Limbah cair sebagai hasil buangan dari proses penyamakan kulit umumnya menimbulkan cemaran yang cukup tinggi, terutama banyak mengandung logam berat krom (Hidayat, 2005). Logam krom dalam bentuk Cr (III) merupakan unsur penting dalam makanan (*trace essential*) yang mempunyai fungsi menjaga agar metabolisme glukosa, lemak dan kolesterol berjalan normal (Wijanto, 2005). Selain itu jika kekurangan krom akan menimbulkan resistensi insulin (Atmosukarto, 2004). Akan tetapi kromium dalam konsentrasi tertentu bersifat racun bagi manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan. Apabila masuk ke dalam sel dapat menyebabkan kerusakan DNA sehingga terjadi mutasi (Larashati, 2004). Selain itu logam krom sangat sulit diabsorpsi melalui saluran pencernaan. Absorpsi dalam jumlah yang cukup tinggi dari beberapa senyawa kromium dapat menyebabkan pusing, haus berat, sakit perut, muntah, syok, *oliguria* atau *anuria* dan *uremia* yang mungkin bisa fatal (Agung, 2005). Logam berat krom dalam limbah cair penyamakan kulit ini berasal dari bahan kimia yang digunakan untuk proses penyamakan kulit, yaitu *Chromium Oxide* (Cr_2O_3) (Anonim, 2001).

Proses pengolahan limbah logam berat yang telah sering dilakukan selama ini adalah dengan melakukan penambahan zat-zat kimia tertentu untuk pemisahan ion logam berat seperti *chemical precipitation*, *electrodialysis* dan *reverse osmosis* (Suhendrayatna, 2001). Proses-proses tersebut dianggap kurang memadai karena selain biaya yang harus dikeluarkan sangatlah besar, proses ini juga menghasilkan limbah sekunder yang dapat membahayakan lingkungan dengan masa aktif yang lebih panjang. Sebagai contoh limbah yang mengandung logam terlarut diendapkan sebagai hidroksida atau sulfida tak larut dan dikumpulkan sebagai *sludge* (lumpur) lalu dibuang ke dalam tanah. Hal ini tentu saja sangat berbahaya bagi lingkungan dikarenakan ketoksikan lumpur tersebut dapat lepas kembali oleh asam (Hancock, 1996).

Kabupaten Garut sebenarnya telah memiliki Instalasi Pembuangan Air Limbah (IPAL) untuk mengolah limbah industri penyamakan kulit sebelum akhirnya dibuang ke lingkungan, namun keberadaan IPAL ini belum mampu mengatasi permasalahan lingkungan yang terjadi. Hidayat (2005) menyatakan bahwa tingkat pencemaran logam krom hasil buangan limbah industri penyamakan kulit di Kabupaten Garut, Jawa Barat, dinilai sudah tinggi. Tingginya tingkat pencemaran ini dikarenakan belum optimalnya kerja tiga unit Instalasi Pembuangan Air Limbah

(IPAL). Biaya operasional yang cukup tinggi merupakan kendala dari belum optimalnya kerja IPAL tersebut.

Melihat kenyataan ini maka diperlukan cara lain untuk mengolah limbah industri penyamakan kulit ini sehingga dapat menurunkan tingkat pencemaran akibat logam krom tersebut. Alternatif pengolahan limbah industri yang sekarang ini banyak digunakan ialah pengolahan limbah dengan menggunakan materi biologi (*bioremoval*). Salah satu proses *bioremoval* yang dikembangkan di beberapa negara maju adalah biosorpsi (*biosorption*) logam berat dengan menggunakan biomassa organisme. Biosorpsi dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari materi biologi untuk mengakumulasi logam berat dari limbah (*waste water*) melalui kemampuan adsorpsi fisika-kimia dari materi biologi tersebut (*chemical-physico pathways of uptake*) (Kuyucak and Volesky, 1988; Gadd and White, 1990; Zhou and Kiff, 1991; Fourest and Roux, 1992).

Alga, bakteri, jamur, dan ragi secara signifikan berpotensi untuk dijadikan sebagai *metal biosorbents* (Volesky, 1986; Gomez *et al.*, 1998). Menurut Bender *et al.*, (1995), biomassa mikroorganisme yang meliputi mikroba dan jamur memberikan hasil yang signifikan terhadap proses *bioremoval metal* dan *metaloid* yang berasal dari limbah-limbah industri, seperti besi (Fe), mangan (Mn), kobalt (Co), tembaga (Cu), seng (Zn), merkuri (Hg), nikel (Ni), kadmium (Cd), timbal (Pb), krom (Cr) dan uranium.

Penelitian yang dilakukan oleh Jianlong *et al.*, (2001), menunjukkan bahwa biomassa *Aspergillus niger* secara signifikan dapat digunakan sebagai *biosorbent* logam timbal. Hasil penelitian yang dilakukan Gadd (1994), mengungkapkan bahwa *chitin* dari *Aspergillus niger* memperlihatkan daya serap yang cukup tinggi terhadap ion logam. Tomko *et al.*, (2006) pada penelitiannya yang menggunakan biomassa jamur *Amanita muscaria*, *Agaricus campester* dan *Trametes gibbosa* untuk penyerapan logam aluminium, tembaga dan antimony menunjukkan hasil bahwa *Trametes gibbosa* relatif sangat efektif untuk penyerapan ketiga logam tersebut, *Agaricus campester* lebih efektif untuk penyerapan logam aluminium dan antimoni, sedangkan *Amanita muscaria* lebih efektif dalam penyerapan logam tembaga.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi biosorpsi logam berat oleh mikroorganisme adalah pH, kompetisi antar kation, waktu kontak dan jumlah biomassa mikroorganisme (Gadd, 1992). El-Morsy (2004) menyatakan bahwa konsentrasi biomassa, pH dan waktu kontak sangat mempengaruhi proses biosorpsi jamur *Cunninghamella echinulata* terhadap logam Pb, Zn dan Cu dari perairan tercemar di Mesir. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tsezos dan Volesky (1982), biomassa jamur *Rhizopus arrhizus* dan *Aspergillus niger* digunakan sebagai penyerap logam uranium dan thorium. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penyerapan ion logam uranium dan thorium pada pH 2.0 lebih

rendah daripada pH 4.0 dan tidak ada perbedaan penyerapan ion logam uranium dan thorium antara pH 4.0 dan 5.0 yang merupakan pH optimum.

Berdasarkan latar belakang penelitian-penelitian dengan menggunakan jamur mikroskopis tersebut, maka diperlukan penelitian untuk mencari jenis jamur makroskopis yang memiliki kemampuan adsorpsi logam yang baik terhadap logam krom yang terdapat dalam limbah cair penyamakan kulit tersebut. Pada penelitian ini jamur makroskopis yang akan digunakan sebagai *biosorbent* ialah jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*). Dewasa ini pembudidayaan jamur tiram putih sebagai bahan pangan telah semakin pesat, namun seiring dengan hal tersebut penumpukan sisa produksi dari jamur tiram putih pun ikut meningkat. Hal ini dikarenakan tidak semua bagian tubuh dari jamur tiram putih ini digunakan sebagai bahan pangan. Bagian batang (*stem*) dan akar lebih banyak dibuang dan hanya bagian *basidiocarp*-nya saja yang dimanfaatkan sebagai bahan pangan. Pemanfaatan limbah jamur tiram ini sebagai *biosorbent* diharapkan akan menambah nilai guna dari jamur tiram itu sendiri, tidak hanya sebagai bahan pangan saja namun juga dapat diterapkan dalam teknologi pengolahan limbah industri.

METODE PENELITIAN

1. Penentuan Kadar Logam Cr Awal dalam Limbah Cair Penyamakan Kulit

Limbah cair diperoleh dari tempat industri penyamakan kulit di Sukaregang, Kabupaten Garut. Penentuan kadar logam krom awal pada limbah penyamakan kulit ditentukan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*).

2. Pembuatan Serbuk Jamur *Pleurotus ostreatus*

Jamur *Pleurotus ostreatus* yang digunakan diperoleh dari tempat budidaya jamur tiram putih yang terletak di CV. Mandiri, Jln. Kol. Masturi, Lembang, Kab. Bandung. Bagian *stem* dan akar dari *Pleurotus ostreatus* diambil kemudian dicuci. Proses selanjutnya biomassa diblender hingga halus kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 80°C selama 24 jam. Biomassa yang telah kering kemudian digerus hingga menjadi serbuk.

3. Biosorpsi Logam Cr oleh Biomassa Jamur *Pleurotus ostreatus*

Larutan limbah diambil sebanyak 25 ml dan dimasukkan ke dalam masing-masing botol perlakuan. Masing-masing larutan dalam botol perlakuan diatur

derajat keasamannya pada pH 5 (Saefudin *et al.*, 2007), dengan menambahkan larutan 1N H₂SO₄ dan 1 N NaOH.

Larutan limbah dikontakkan dengan konsentrasi jamur yang berbeda yaitu 0,04; 0,08; 0,12; 0,16; 0,20; 0,24 gr/25ml dan masing-masing botol perlakuan diaduk dalam *rotary shaker* pada kecepatan 175 rpm selama 80 menit (penelitian pendahuluan).

4. Penentuan Kadar Logam Cr yang Terserap oleh Biomassa.

Setelah pengontakan, biomassa dipisahkan dari limbah cair dengan cara disentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm selama 30 menit kemudian supernatan dibuang dan biomassa disaring. Biomassa yang telah dipisahkan dari limbah kemudian didestruksi menggunakan HNO₃ pekat untuk melepaskan logam Cr yang terikat oleh biomassa jamur. Larutan hasil destruksi kemudian dianalisis menggunakan AAS untuk mengetahui kadar logam Cr yang terikat oleh biomassa jamur *Pleurotus ostreatus*.

Untuk perhitungan persentase ion logam terserap dihitung menggunakan Persamaan 1 dan untuk perhitungan serapan ion (kapasitas biosorpsi) untuk setiap gram biomassa yang digunakan dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut (Hu *et al.*, 1996; Volesky, 1999; Al-Rub *et al.*, 2005):

$$\% \text{ ion logam terserap} = \frac{C_{\text{terserap}}}{C_{\text{awal}}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$q = \frac{C_{\text{terserap}} \times V}{W} \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

C_{terserap} = Konsentrasi logam terserap (ml/L)

C_{awal} = Konsentrasi logam sebelum dikontakkan dengan biomassa (ml/L)

V = Volume larutan (L)

W = Jumlah biomassa (g)

q = Serapan ion logam/ biomassa (ml/g)

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan uji ANAVA satu arah yang dilanjutkan dengan uji Tukey pada taraf signifikansi 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Kadar Logam Cr Awal

Hasil analisis kadar logam awal limbah penyamakan kulit dengan menggunakan metode AAS, diperoleh hasil bahwa kandungan logam krom awal adalah sebesar 297,50 ppm ini menunjukkan bahwa tingkat pencemaran yang akan ditimbulkan oleh limbah logam tersebut sangat tinggi. Kadar krom pada limbah jauh melebihi nilai baku mutu limbah cair untuk kegiatan industri yang dikeluarkan oleh pemerintah melalui Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51/MENLH/10/1995 yaitu sebesar 2 mg/L.

Keadaan ini sangat berbahaya bagi masyarakat yang berada di lingkungan sekitar pabrik dan sepanjang daerah buangan limbah logam krom tersebut. Seperti diketahui bahwa logam krom ini dapat terakumulasi di dalam tubuh organisme termasuk kerang dan ikan, sehingga akan sangat membahayakan jika ikan-ikan atau organisme yang telah tercemar logam berat ini dikonsumsi oleh masyarakat (Marganof, 2003).

Logam krom yang terdapat dalam limbah yang ditemukan dalam bentuk ion, termasuk kedalam kelompok *transition metal cations*. Kelompok logam ini, apabila langsung dibuang kedalam perairan dapat berikatan dengan senyawa lain (termasuk senyawa organik) membentuk suatu senyawa organometalik yang kompleks. Lebih lanjut dikemukakan bahwa sebagai bagian dari kelompok *recycled elements*, krom terlarut dari buangan limbah yang terdapat dalam perairan memiliki potensi melanggengkan keberadaannya karena walaupun telah terakumulasi dalam sel makhluk hidup dapat dikeluarkan kembali sebagai *biological debris sink* (Manahan, 2000). Oleh karena itu, upaya pengolahan limbah dengan kandungan krom yang tinggi tersebut perlu dilakukan secara optimal sebelum langsung dibuang kedalam perairan. Berdasarkan hal tersebut, upaya pengolahan limbah dengan teknik biosorpsi perlu diupayakan dengan baik, dengan pemilihan *biosorbent* yang efektif dan jumlah biomassa yang tepat.

2. Biosorpsi Logam Cr oleh Biomassa Jamur

Berdasarkan hasil analisis kandungan logam krom yang terserap oleh biomassa jamur yang digunakan dalam biosorpsi ini, diketahui bahwa persentase ion logam terserap terbesar yaitu $80,04 \% \pm 1,39$ terdapat pada perlakuan jumlah biomassa 0,04 gram dan persentase ion logam terserap terkecil terdapat pada perlakuan jumlah biomassa 0,24 gram yaitu $73,41 \% \pm 2,00$. Nilai persentase ion logam terserap dari logam krom oleh biomassa jamur *Pleurotus ostreatus* seluruhnya, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Persentase Ion Logam Terserap Hasil Biosorpsi Logam Krom Oleh Biomassa Jamur *Pleurotus ostreatus*.

Jumlah Biomassa (g)	Rata-rata ion Logam Terserap (%)
0,04	80,04
0,08	78,40
0,12	75,84
0,16	75,84
0,20	76,89
0,24	73,41

Berdasarkan data dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kemampuan biosorpsi jamur *Pleurotus ostreatus* cukup baik. Jamur ini dapat menyerap logam krom dalam larutan limbah hingga 80%. Kemampuan jamur untuk mengakumulasi logam berat dari larutan limbah melalui jalur adsorpsi fisika-kimia (*chemical-physico pathways of uptake*) cukup efektif (Kuyucak and Volesky, 1988; Gadd and White, 1990; Zhou and Kiff, 1991; Fourest and Roux, 1992).

Untuk mengetahui nilai serapan ion krom oleh biomassa jamur, maka dilakukan analisis kapasitas biosorpsi (q) yang dihitung dengan model persamaan 3.2 seperti terlihat pada tabel 2.

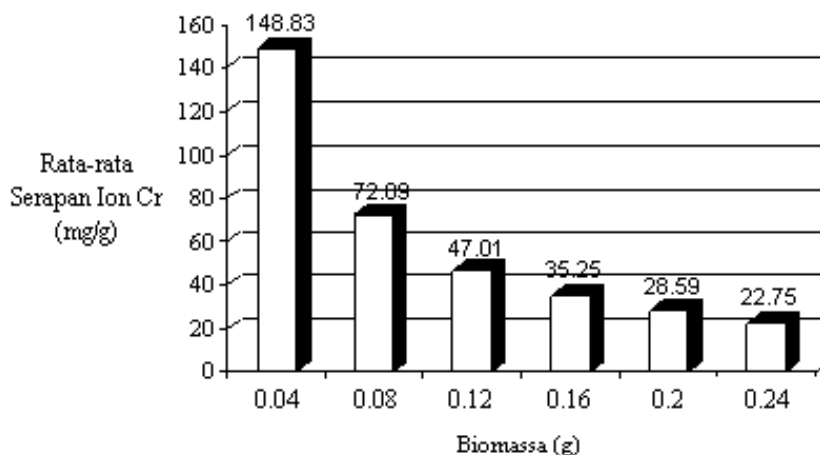
Tabel 2. Kapasitas biosorpsi (q) Ion Krom oleh Biomassa Jamur *Pleurotus ostreatus*

Jumlah Biomassa (g)	Rata-rata q (mg/g)
0,04	148,82
0,08	72,89
0,12	47,01
0,16	35,25
0,20	28,59
0,24	22,75

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata kapasitas biosorpsi (q) untuk setiap gram biomassa jamur *Pleurotus ostreatus* yang digunakan adalah beragam. Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa nilai rata-rata q tertinggi terlihat pada biomassa 0,04 g, yaitu sebesar $148,83 \pm 2,58$ mg/g, sedangkan nilai rata-rata q terendah terlihat pada biomassa 0,24 g, yaitu sebesar $22,75 \pm 0,62$ mg/g. Hasil analisis deskriptif

secara umum menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah biomassa yang digunakan, rata-rata nilai q mengalami penurunan.

Nilai rata-rata kapasitas biosorpsi (q) dari enam variasi biomassa yang digunakan menunjukkan perbedaan yang signifikan pada taraf signifikansi 0,05 (Uji Tukey). Perbedaan tersebut muncul karena beberapa hal, diantaranya adalah mekanisme pengikatan logam oleh biomassa tidak terjadi secara optimal untuk keenam variasi biomassa yang digunakan. Keadaan ini terjadi karena adanya keterbatasan kapasitas biosorpsi dimana ketika daerah interaksi dengan logam terpenuhi maka proses selanjutnya yang terjadi adalah desorpsi logam (Macaskie, 1989). Proses ini yang menyebabkan adanya hubungan berbanding terbalik antara jumlah biomassa dengan rata-rata nilai q. Pada Gambar 1 terlihat bahwa kemampuan adsorpsi dari jamur tiram putih terus mengalami penurunan seiring dengan pertambahan biomassa yang digunakan.



Gambar 1. Grafik Rata-rata Kapasitas biosorpsi (q) Jamur *Pleurotus ostretus*.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Al-Rub *et al.*, (2005) yang menggunakan *Chlorella vulgaris* untuk biosorpsi logam tembaga. Peningkatan jumlah biomassa *C. vulgaris* menurunkan kemampuan penyerapan logam tembaga dari *C. vulgaris* itu sendiri.

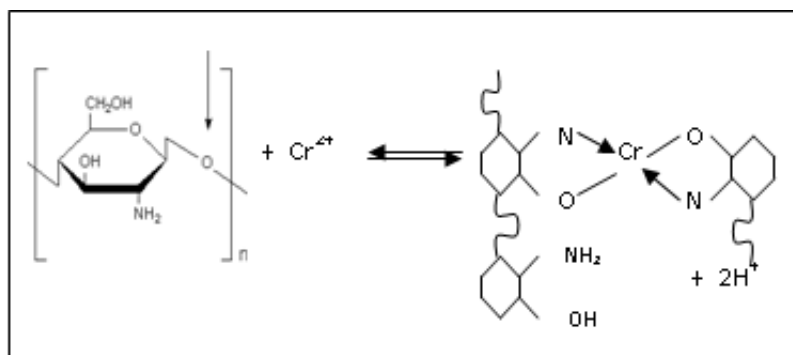
Penurunan penyerapan logam tersebut dapat terjadi dikarenakan beberapa hal seperti keberadaan substansi terlarut, interaksi elektrostatis, pengaruh dari *binding site* yang tidak bermuatan menjadi bermuatan, dan penurunan kecepatan pengadukan (Al-Rub *et al.*, 2005). Pada proses biosorpsi dengan konsentrasi

biomassa yang tinggi akan terbentuk suatu padatan atau endapan dari biomassa sehingga akan menurunkan jumlah daerah adsorpsi yang efektif dari biomassa tersebut (Donmez *et al.*, 1998).

Adanya pengurangan jumlah daerah aktif pada permukaan sel jamur menyebabkan proses penyerapan logam akan terganggu. Daerah-daerah aktif yang seharusnya diisi oleh kation-kation logam target tertutup karena terjadi penggumpalan biomassa tersebut. Penggumpalan biomassa tersebut terjadi karena perbandingan jumlah biomassa dengan volume larutan yang digunakan tidak seimbang akibatnya biomassa jamur tidak dapat larut dan saling bersatu membentuk padatan atau gumpalan. Keadaan ini mengakibatkan luas permukaan sentuh biomassa jamur yang memiliki daerah-daerah aktif akan berkurang. Dengan jumlah daerah aktif yang sedikit akan menyebabkan biomassa jamur cepat mengalami kejenuhan. Seperti yang diungkapkan oleh Fourest dan Roux (1992) bahwa penyerapan ion logam per gram biomassa akan meningkat selama *biosorbent* tersebut tidak mengalami kejenuhan. Berdasarkan hasil tersebut, maka kenaikan biomassa ini menurunkan kemampuan absorpsi dari jamur *Pleurotus ostreatus*.

3. Mekanisme Pengikatan Logam Krom oleh Chitosan

Daerah aktif pada proses adsorpsi logam krom oleh biomassa jamur ini berasal dari gugus asam amino (NH_2) yang terdapat pada *chitosan* sebagai komponen penyusun dinding sel jamur. *Chitosan* bersifat polikationik dapat mengikat lemak dan logam berat pencemar. *Chitosan* yang memiliki gugus amina yaitu adanya unsur N bersifat sangat reaktif dan bersifat basa. Prinsip koagulasi *Chitosan* adalah penukar ion. Prinsip adsorpsi krom oleh *chitosan* adalah dengan mekanisme penukar ion dimana garam amina yang terbentuk karena reaksi amina dengan asam akan menukar proton yang dimiliki logam krom dengan elektron yang dimiliki oleh nitrogen (N). Pada proses penyerapan krom akan terjadi pengikatan Cr oleh gugus nitrogen (N) dan oksida (O). Logam Cr tersebut akan terikat atau terserap, terkumpul dan terjadilah flok-flok logam. *Chitosan* dengan kemampuan daya ikat atau daya serapnya mampu dijadikan koagulan yang tidak berbahaya (Widodo dkk., 2006).



Gambar 2. Mekanisme Pengikatan Logam Berat oleh *Chitosan*
(Sumber : Inoue *et al.*, 1994).

Biosorpsi logam krom oleh jamur *Pleurotus ostreatus* dari penelitian ini yaitu sebesar 80% ternyata belum mampu menurunkan kadar logam krom hingga dibawah nilai baku mutu limbah cair. Tingginya potensi pencemaran logam krom ini, tentu akan sangat berbahaya jika limbah logam krom ini sampai masuk dan mencemari perairan di sekitar masyarakat. Masuknya limbah logam berat ini di perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia (Marganof, 2003).

KESIMPULAN

Proses adsorpsi ion logam krom dalam larutan limbah penyamakan kulit oleh biomassa *Pleurotus ostreatus* dipengaruhi oleh jumlah biomassa yang digunakan. Kapasitas biosorpsi maksimum dari jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) terjadi pada konsentrasi biomassa yang rendah dan akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan konsentrasi biomassa yang digunakan. Penelitian ini telah dapat menunjukkan kegunaan lain dari jamur *Pleurotus ostreatus*, tidak hanya sebagai bahan pangan saja tetapi jamur *Pleurotus ostreatus* ini dapat dijadikan sebagai alternatif *biosorbent* yang cukup efektif dan ekonomis dalam proses pengolahan limbah cair industri penyamakan kulit dengan menggunakan teknologi biosorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. **Industri Kulit Kekurangan Bahan Baku.** (Online). Tersedia: http://suharjawanasuria.tripod.com/industri_kulit_01.htm. 2001.
- Agung. **Kromium.** (Online). Tersedia: [http://www.google.or.id/Bappedal/Provinsi Jawa Tengah_kromium.htm](http://www.google.or.id/Bappedal/Provinsi/Jawa_Tengah_kromium.htm). 2005.
- Al-Rub, F. A. A., M. H. El-Naas., I. Ashour and M. Al-Marzouqi. **Biosorption of Copper on *Chlorella vulgaris* from Single, Binary and Ternary Metal Aqueous Solutions.** *Elsevier*. *Proses Biochemistry* 41: 457-464. 2005.
- Atmosukarto, K. dan M. Rahmawati. **Terapi Nutrisi Kromium Untuk Penderita Diabetes.** Pusat Penelitian dan Pengembangan Ekologi Kesehatan, Departemen Kesehatan RI Jakarta. *Cermin Dunia Kedokteran* No. 143. 2004.
- Bender, J., R. Lee and P. Phillips. **Uptake and Transformation of Metals and Metaloids by Microbial Mats and Their Uses in Bioremediation.** *J. Industrial Microbial.* 14. 113-118. 1995.
- Donmez, G. C., Z. Aksu., A. Oztruk and T. Kutsal. **A Comparative Study on Heavy Metal Biosorption Characteristics of Some Alga.** *Elsevier*. *Process Biochemistry* 34 : 885-892. 1988.
- El-Mory, E. S. ***Cunninghamella echinulata* A New Biosorbent of Metal Ions from Polluted Water in Egypt.** *The Mycological Society of America*. Lawrence. Pp. 1183-1189. 2004.
- Fourest, E. and J. C. Roux. **Heavy Metal Biosorption by Fungi Mycelial by-Products: Mechanisms and Influence of pH.** *Appl Microbiol Biotechnol.* 3.: 399-403. 1992.
- Gadd, G. M. **Metal and Microorganism: a problem of definition.** *FEMS Microbiol. Lett.* 79, 197-203. 1992.
- Gadd, G. M. **Interaction of Fungi itj Toxic Metal.** Departement of Biological Sciences. Universitu of Dundee.1994.
- Gadd, G. M. and C. White. **Microbial Treatment of Metal Pollution a Working Biotechnology.** *Tibtech*, 11. 353-359. 1990.
- Gomez, N.C.M., L.C.S. Mendonca-Hagler and I.M. Savaidis. **Metal Bioremediation by Microorganism.** *Rev. Microbial.* 29: 85-92. 1989.

- Hancock, I. C. **Novel Concepts in Bioremediation of Heavy Metal Pollution and in Biotreatment of Industrial Waste.** In *Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation*, IUC Biotechnology Gadjah Mada University, Yogyakarta, September, 18 –20, 1996.
- Hidayat, J. D. **Tinggi, Tingkat Pencemaran Limbah Penyakit Kulit.** (Online). Tersedia:
http://www.garut.go.id/dynamic_news_body.php.htm. 2005.
- Hu, M. Z. C., J. M. Norman., N. B. Faison and M. Reeves. **Biosorption of Uranium by *Pseudomonas aeruginosa* Strain CSU: Characterization and Comparison Studies.** *Biotechnol Bioeng.* 51: 237-247. 1996.
- Inoue, K., Y. Kazuharu and Y. Baba. **Adsorption Of Metal Ion On Chitosan and Chemically Modified Chitosan and Their Application To Hydrometallurgy.** *Biotechnology and Bioactive Polymers., Gebelein, C., Carraher (Edd).* Plenum Publishing. New York 1994.
- Jianlong, W., Z. Xinmin., Decai and D. Ding. **Bioadsorption of Lead (II) from Aqueous Solution by Fungal Biomass *Aspergillus niger*. I.** *Biotechnol.* 87: 273-277. 2001.
- Kuyucak, N. and B. Volesky. **Biosorbents Forrecovery of Metals from Industrial Solutions.** *Biototechnol Left.*, 10 (2), 137-142. 1988.
- Larashati, S. **Reduksi Krom (VI) Secara In Vitro Oleh Kultur Campuran Bakteri yang Diisolasi dari Lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah.** Tesis S-2. Departemen Biologi ITB. 2004.
- Macaskie L.E. **An Immobilized Cell Bioprocess for the Removal of Heavy Metals from Aqueous Flows.** *J.Chem.Tech.Biotechnol.* 90. 503-510. Great Prining. 1989
- Manahan S.E. **Environmental Chemistry 7th Ed.** Lewis Publisher. USA. 2000.
- Marganof. **Potensi Limbah Udang Sebagai Penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium, dan Tembaga) di Perairan.** (Online). Tersedia:<http://www.goolge.co.id/> Biology Resources on Shantybio - Makalah Limbah Udang.htm. 2003.
- Nurwitakapti, D. **Pengaruh Limbah Penyamakan Kulit Terhadap Komunitas Makrozoobentos di Tiga Stasiun Sungai Ciwalen, Garut.** Skripsi S1-Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati ITB. Bandung. 2005
- Saefudin, Kusnadi, P.T. Adiwinata. **Pengaruh pH dan Waktu Kontak Terhadap Biosorpsi Logam Zn oleh Biomassa *Aspergillus niger* Van Tieghm Pada Larutan Limbah Pertambangan Nikel.** *In press.*

- Suhendrayatna. **Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan.** (Online). Tersedia:http://www.google.co.id/010211_suhendrayatna.htm. 2007.
- Tomko, J., M. Backor and M. Stofko. **Biosorption of Heavy Metal by Dry Fungi Biomass.** *Acta Metallurgica Slovaca*. 12: 447-451. 2006.
- Tsezos, M. and B. Volesky. **The Mechanism of Thromium Biosorption by *Rhizopus arrizhus*.** *Biotechno. Bioeng.* 24: 955-969. 1982.
- Volesky, B. **Biosorbent for Metal Recovery.** *Trends Biotechnol.* 5: 96-101. 1986.
- Volesky, B. **Biosorption for The Next Century.** (Online). Tersedia: <http://www.biosorption.mcgill.ca/biosorption.htm>. 2007.
- Widodo, A., Mardiah dan A. Prasetyo. **Potensi Kitosan Dari Sisa Udang Sebagai Koagula Logam Berat Limbah Cair Industri Tekstil.** Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. 2006.
- Wijanto, S.E. **Limbah B3 dan Kesehatan.** (Online). Tersedia:http://www.google.co.id/limbah_B-3.htm. 2007.
- Zhou, J. L and R. J. Kiff. **The Uptake of Copper from Aqueous Solution by Immobilized Fungal Biomass.** *J. Chern Technol. Biotechnol.* 52, 317-330.1991.