

BIOSORPSI ION LOGAM KADMIUM OLEH *Aspergillus flavus*

Anna Rakhmawati

Jurusan Pendidikan Biologi FMIPA UNY

ABSTRAK

Salah satu dampak negatif kegiatan industri dan aktivitas manusia berupa limbah yang dapat menyebabkan pencemaran antara lain berupa limbah logam berat. Jenis logam berat yang berbahaya bagi kehidupan manusia misalnya kadmium (Cd). Kadmium bersifat akumulatif dalam tubuh organisme dan dapat menyebabkan toksisitas akut dan kronis. Pencemaran lingkungan oleh limbah berat umumnya diatasi dengan pengolahan secara fisiko-kimia namun hasilnya kurang optimal dan justru dapat menimbulkan limbah sekunder yang membahayakan lingkungan. Oleh karena itu, perlu dikembangkan metode yang ramah lingkungan, efektif, dan efisien salah satunya dengan metode biosorpsi menggunakan mikroorganisme. Mikroorganisme yang dapat digunakan antara lain fungi, bakteri, dan algae. *Aspergillus flavus* merupakan salah satu jenis fungi potensial yang dapat digunakan sebagai biosorben kadmium. Mekanisme biosorpsinya secara umum dapat dibedakan menjadi 2 yaitu tergantung metabolisme dan tidak tergantung metabolisme. Faktor-faktor yang mempengaruhi biosorpsi kadmium oleh *A. flavus* misalnya konsentrasi kadmium, konsentrasi biomassa *A. flavus*, pH, suhu, dan keberadaan ion lain.

Kata kunci: biosorpsi, kadmium, *Aspergillus flavus*

PENDAHULUAN

Pesatnya industrialisasi dan aktivitas manusia berdampak pada lingkungan. Salah satu dampak negatifnya berupa pembuangan limbah misalnya limbah logam berat yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Kasus polusi logam berat yang terjadi di Indonesia antara lain air laut yang tercemar air raksa, limbah industri (kasus Buyat), udara yang tercemar timbal (Pb) yang berasal dari kendaraan bermotor, dan lain-lain. Sedangkan kegiatan industri seperti industri logam, industri kimia, tekstil, pembuatan keramik, pembuatan baterai Ni-Cd, PVC, plastik dan reaktor atom merupakan sumber pencemaran logam berat kadmium di lingkungan (Darmono, 2001: 136). Kumar (2006: 1-2) menyatakan kriteria berbagai jenis logam berat yang berbahaya bagi manusia dengan prioritas paling berbahaya atau tinggi adalah Cd, Pb, dan Hg. Prioritas menengah yaitu Cr, Co, Cu, Ni, dan Zn. Sedangkan

Dipresentasikan dalam SEMINAR NASIONAL MIPA 2006 dengan tema " **Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA serta Peranannya dalam Peningkatan Keprofesionalan Pendidik dan Tenaga Kependidikan**" yang diselenggarakan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNY, Yogyakarta pada tanggal 1 Agustus 2006

Al dan Fe merupakan prioritas rendah. Suhendrayatna (2001: 3) mengemukakan *the big three heavy metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi terhadap kesehatan manusia adalah Cd, Pb, dan Hg.

Logam kadmium berwarna putih kebiruan, mudah dibentuk, tidak larut air tetapi mudah bereaksi dengan asam nitrat. Logam ini teroksidasi lambat pada udara lembab membentuk kadmium oksida. Kadmium bersifat antikorosi sehingga banyak digunakan sebagai pelapis baja. Logam ini juga banyak digunakan dalam berbagai industri seperti baterai alkalin, pigmen, plastik, solder perak, dan logam campuran. Seperti logam berat pada umumnya kadmium bersifat akumulatif dalam tubuh organisme dan dapat menyebabkan toksisitas akut dan kronis (Maman 2005: 5.25). Kadmium bersifat toksik bagi organisme karena cenderung terjadi bioakumulasi pada rantai makanan (Kok *et al*, 2002a: 332).

Ahalya *et al* (2006: 1) mengemukakan pencemaran lingkungan oleh limbah logam berat umumnya diatasi dengan pengolahan secara fisiko-kimia dan fitoremediasi. Cara-cara fisiko kimia yang umum digunakan misalnya:

- a. *Reverse osmosis*, yaitu proses pemisahan logam berat menggunakan membran semi permeabel dengan tekanan lebih besar dari tekanan osmotik yang disebabkan padatan terlarut di air limbah. Kerugiannya yaitu diperlukan biaya yang mahal.
- b. Elektrodialisis, yaitu logam berat dipisahkan menggunakan membran selektif ion yang semi permeabel. Kerugiannya yaitu pembentukan logam hidroksida yang dapat mempengaruhi membran.
- c. Ultrafiltrasi, menggunakan membran berpori namun kerugiannya yaitu adanya pembentukan lumpur.
- d. Pertukaran ion, merupakan proses penukaran ion logam dari larutan. Kerugiannya selain biaya mahal juga dapat terjadi pemindahan beberapa bagian ion tertentu.
- e. Pengendapan kimiawi, dilakukan dengan penambahan koagulan seperti garam-garam Fe dan polimer organik lain. Kerugiannya dihasilkan lumpur yang masih mengandung senyawa toksik.

Cara lain yang digunakan yaitu fitoremediasi menggunakan tanaman tertentu untuk membersihkan tanah, sedimen, dan air yang terkontaminasi logam. Kerugian menggunakan metode ini ialah dibutuhkan waktu lama untuk pemindahan logam dan regenerasi tanaman untuk proses biosorpsi lebih lanjut sukar.

Pengolahan secara fisiko-kimia dan fitoremediasi masih menyebabkan berbagai kerugian misalnya pemindahan ion logam yang tidak sempurna, kebutuhan energi dan reagen yang tinggi, biaya yang mahal, menghasilkan lumpur toksik atau produk lain yang justru akan menimbulkan limbah sekunder. Oleh karena itu diperlukan alternatif metode penanganan yang ramah lingkungan, efektif, dan efisien.

Metode pengolahan limbah logam berat terutama kadmium yang perlu dikembangkan adalah metode biosorpsi menggunakan mikroorganisme. Keuntungan menerapkan metode biosorpsi untuk penanganan limbah logam berat adalah biaya yang murah, regenerasi cepat, dan tidak ada lumpur yang dihasilkan (Kumar 2006: 12-13). Sedangkan Kratochvil & Volesky (1998) dalam Ahalya *et al.* (2006: 2) menyatakan keuntungan utama biosorpsi dibandingkan dengan semua metode penanganan limbah yang ada ialah murah, efisiensi tinggi, minim bahan kimia dan buangan lumpur, tidak memerlukan nutrisi tambahan, adanya regenerasi biosorben, dan adanya kemungkinan pengunduhan logam.

Biosorpsi adalah proses pengikatan kation secara pasif oleh biomassa mikroorganisme hidup atau mati yang merupakan cara efektif mengurangi logam berat toksik dari limbah industri (Sag, 2001: 1). Biosorpsi dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari materi biologi untuk mengakumulasi logam berat dari perairan baik dengan cara fisiko-kimia maupun secara metabolik (Forest & Roux 1992 dalam Ahalya *et al.* 2006: 2)

Proses biosorpsi melibatkan bahan padat (biosorben; materi biologi) dan bahan cair (solven; biasanya digunakan air) mengandung logam berat yang akan diserap (sorbat; ion logam). Dengan adanya daya afinitas yang tinggi dari biosorben terhadap sorbat, sorbat akan ditarik dan terikat oleh mekanisme yang berbeda (Ahalya *et al.* 2006: 2).

Mikroorganisme yang dapat digunakan sebagai biosorben adalah bakteri, fungi, dan alga. Biosorpsi menggunakan fungi merupakan metode alternatif yang sering digunakan untuk penanganan pencemaran oleh kadmium. Sag (2001: 1) menyatakan bahwa fungi dikenal sebagai biosorben yang menjanjikan untuk pemindahan logam berat (kadmium) dari lingkungan tercemar.

Fungi dapat dibedakan menjadi yeast (khamir, sel ragi), kapang (mold), cendawan (mushroom), dan jamur lendir. Salah satu kelompok fungi yang berpotensi sebagai biosorben logam berat (kadmium) adalah kapang. Tabel 1 memperlihatkan beberapa jenis kapang yang dapat digunakan sebagai biosorben kadmium. Kapoor et al (1999) dalam (Anonim 2006: 3) mengemukakan keuntungan menggunakan kapang sebagai biosorben adalah ketersediaan biomassa kapang konstan karena sering digunakan di berbagai proses fermentasi. Selain itu kapang dapat mudah tumbuh di berbagai substrat organik dan media pertumbuhannya tidak mahal.

Tabel 1. Jenis-jenis kapang yang dapat digunakan sebagai biosorben kadmium

No	Jenis kapang	Referensi
1	<i>Aspergillus flavus</i>	Kok <i>et al.</i> (2002b: 474)
2	<i>Aspergillus niger</i>	Junior <i>et al.</i> (2003: 2)
3	<i>Aspergillus</i> sp; <i>Rhizopus</i> sp	Ahmad <i>et al.</i> (2005: 1)
4	<i>Rhizopus arrhizus</i> ; <i>Aspergillus oryzae</i>	Anonim (2006: 2)

A. flavus dikenal sebagai biosorben logam berat potensial, selain kadmium species ini juga dapat sebagai biosorben uranium dan thronium (Hafez et al 1997: 1), Cu dan Pb (Kok *et al.*, 2002b: 474)

A. flavus umum ditemukan pada kacang-kacangan terutama kacang tanah, rempah-rempah, biji yang mengandung minyak, sereal, dan kadang-kadang pada buah-buahan yang dikeringkan. Seringkali sukar dibedakan antara *A. flavus* dengan *A. parasiticus* karena banyak strain yang mempunyai ciri-ciri antara kedua species tersebut. Koloni *A. flavus* pada medium Czapek's Dox Agar (CDA) mencapai

diameter 3-5 cm dalam waktu 7 hari dan berwarna hijau kekuningan karena lebatnya konidiofor yang terbentuk. Kepala konidia khas berbentuk bulat kemudian merekah menjadi beberapa kolom dan berwarna hijau kekuningan hingga hijau tua kekuningan. Konidiofor berwarna hialin, kasar, dan dapat mencapai panjang 1,0 mm (ada yang mencapai 2,5 mm). Vesikula berbentuk bulat hingga semibulat dan berdiameter 25-45 μm . Fialid terbentuk langsung pada vesikula atau pada metula dan berukuran (6-10)x(4,0-5,5) μm . Metula berukuran (6,5-10)x(3-5) μm . konidia berbentuk bulat hingga semibulat berdiameter kurang lebih 3,6 μm , hijau pucat, dan berduri. Sklerotia seringkali dibentuk pada koloni yang baru, bervariasi dalam ukuran dan dimensi berwarna coklat hingga hitam. Pertumbuhan koloni lebih cepat pada medium Malt Extract Agar(MEA)(Gandjar *et al.*, 1999: 22).

Domsch *et al.* (1980: 90-94) menyatakan bahwa *A. flavus* sering dikenal sebagai *A. flavus-oryzae*, beberapa strain mampu memproduksi aflatoksin. Suhu optimum pertumbuhan *A. flavus* (25-42° C), minimum (17-19° C), dan maksimum (47-48° C). pH pertumbuhan optimum berkisar 7,5 sedangkan untuk produksi konidia pHnya sekitar 6,5.

Menurut Alexopoulos *et al.* (1996: 306-307) taksonomi *A. flavus* sebagai berikut:

Kingdom	: Fungi
Class	: Ascomycetes
Order	: Eurotiales
Family	: Trichocomaceae
Genus	: Aspergillus
Species	: <i>Aspergillus flavus</i>

A. flavus thallusnya berupa hifa seperti tabung dengan dinding kaku dan terdapat protoplasma yang bergerak. Panjang hifa tidak terbatas tetapi diameternya berkisar 5-10 μm . Dinding sel berperan banyak misalnya menentukan bentuk, memproteksi dari lisis osmotik, saringan yang mengatur lewatnya molekul besar melalui ruang pori dinding, jika mengandung pigmen akan dapat memproteksi sel dari radiasi, dapat se

bagai sisi pengikatan untuk enzim. Komponen utama dinding sel *A. flavus* terutama polisakarida, sejumlah kecil protein dan lipid. Polisakarida komponen fibrilnya berupa kitin (rantai panjang N-acetylglucosamine yang berikatan β -1,4) dan β -(1,3)- β -(1,6) glukcan. Komponen matriks dinding selnya berupa α (1,3) glukcan dan galactomannoprotein (Deacon, 1997: 29,37).

PEMBAHASAN

Kompleksitas struktur morfologi *A. flavus* menyebabkan banyak cara bagi *A. flavus* untuk dapat melakukan biosorpsi kadmium. Mekanisme biosorpsi bervariasi dan masih intensif diteliti oleh banyak ahli. Dengan adanya variasi tersebut Ahalya *et al.* (2002: 4) mengemukakan mekanisme biosorpsi dapat diklasifikasikan berdasar:

1. Kebergantungan terhadap metabolisme sel
 - a. Mekanisme yang bergantung pada metabolisme (*metabolism dependent*)
 - b. Tidak bergantung pada metabolisme (*metabolism independent*)
2. Tempat logam terakumulasi
 - a. Biosorpsi permukaan sel
 - b. Akumulasi ekstraseluler
 - c. Akumulasi intraseluler

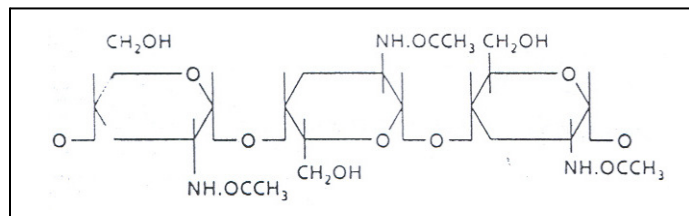
Biosorpsi logam (kadmium) oleh fungi termasuk *A. flavus* merupakan proses bifase yaitu tergantung metabolisme dan tidak tergantung metabolisme (Balckwell *et al.* 1995 dalam Breierova *et al.*, 2002: 634). Pengikatan awal logam (kadmium) diduga melibatkan dinding sel *A. flavus*, meskipun dalam beberapa kasus polimer ekstraseluler dapat terlibat. Pengikatan dapat berupa pertukaran ion, adsorption, kompleksasi, pengendapan, dan kristalisasi dalam struktur mikrofibril dinding sel *A. flavus* (Mowell & Gadd 1984 dalam Breierova *et al.* 2002: 634).

Menurut Suhendrayatna (2001: 5) proses biosorpsi kadmium secara alami dalam kondisi tanpa kendali umumnya terdiri dari 2 mekanisme yang melibatkan proses *passive uptake* dan *active uptake*.

1. *Passive uptake*

Proses ini terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel dengan 2 cara berbeda, pertama pertukaran ion monovalen dan divalen seperti Na^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+} pada dinding sel digantikan ion-ion kadmium (Cd^{2+}); kedua adalah formasi kompleks antara ion-ion kadmium dengan gugus-gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksil, fosfat, dan hidroksil-karboksil yang berada pada dinding sel *A. flavus* (Anonim, 2005: 1). Vieira & Volesky (2000: 19) menyatakan gugus fungsional lain yang diduga terlibat untuk pengikatan logam kadmium yaitu karbonil, karboksil, sulfidril, thioether, sulfonat, amin, imin, imidazole, fosfonat, dan fosfodiester. Sedangkan Anonim (2006: 1) menyebutkan bahwa dinding sel fungi (*A. flavus*) sangat efisien untuk biosorpsi ion logam (kadmium) karena adanya gugus-gugus fungsional yang dimilikinya. Polisakarida dinding sel *A. flavus* memiliki gugus amino, karboksil, fosfat, dan sulfat.

Protein dan polisakarida yang terdapat pada dinding sel *A. flavus* sangat berperan penting dalam proses biosorpsi kadmium karena ikatan-ikatan kovalen termasuk juga dengan gugus amino dan karboksil. Gambar 1. memperlihatkan struktur kimia kitin yang merupakan penyusun utama dinding sel *A. flavus*. Kitin memiliki gugus amino dan karboksil yang berperan dalam proses biosorpsi kadmium.



Gambar 1. Struktur kimia kitin (Sumber Deacon, 1997: 112)

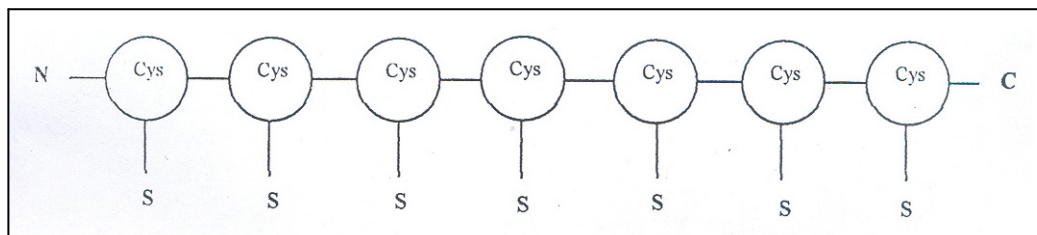
Proses biosorpsi ini berlangsung bolak-balik dan cepat serta dapat terjadi pada sel *A. flavus* mati atau hidup dari suatu biomassa. Proses biosorpsi dapat lebih efektif dengan pengaturan pH tertentu dan keberadaan ion-ion lainnya di media sehingga logam berat dapat terendapkan sebagai garam terlarut. Biosorpsi kadmium secara

umum berlangsung cepat, bolak-balik dan tidak tergantung faktor kinetik jika dikaitkan dengan penyebaran sel.

2. *Active uptake.*

Proses ini dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini dapat terjadi secara simultan sejalan dengan konsumsi ion kadmium untuk pertumbuhan *A. flavus* atau akumulasi intraseluler ion kadmium. Kadmium dapat diendapkan pada proses metabolisme. Proses ini bergantung dari energi yang terkandung dan sensitif terhadap parameter-parameter yang berbeda seperti suhu, kekuatan ionik, cahaya, dan lain-lain. Proses ini dihambat dengan suhu rendah, tidak tersedianya sumber energi, dan penghambat-penghambat metabolisme sel *A. flavus*. Biosorpsi kadmium oleh sel *A. flavus* hidup terbatas karena akumulasi ion kadmium akan menyebabkan racun terhadap *A. flavus*. Hal ini biasanya akan menghambat pertumbuhan *A. flavus* akibat keracunan ion kadmium.

Proses biosorpsi diawali dengan pengikatan ion Cd^{2+} pada gugus sulfur (S) dari asam amino sistein pada dinding sel *A. flavus*. Setelah protein reseptor mengenali adanya logam asing (non esensial), gen akan mengkode pembentukan metallothionein dalam sel. Gambar 2. memperlihatkan struktur protein metallothionein. Protein metallothionein adalah protein thionein pengikat logam memiliki berat molekul 6.000-7.000 dalton, mengandung 30% asam amino sistein. Kandungan sistein dan thiol yang tinggi menyebabkan protein tersebut memiliki daya afinitas yang kuat terhadap logam (Hildebrand *et al.*, 1994: 113).



Gambar 2. Struktur kimia metallothionein (Sumber Artanti, 2005: 46)

Keterangan: N=nitrogen, Cys=sistein, S=sulfur, C=Carbon

Ion Cd^{2+} akan ditransport melalui dinding sel dan akan berikatan dengan metallothienin di dalam sel dengan mekanisme transport pasif. Kadmium akan berikatan dengan 2 atom S pada sistein kemudian struktur metallothionein akan berbentuk seperti jepit rambut. Logam berat (Cd^{2+}) akan terdetoksifikasi dalam struktur metallothionein Metallothienin yang telah berikatan dengan ion Cd^{2+} akan ditransport ke vakuola yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan ion-ion dan metabolit. Sel akan terus membentuk metallothienin selama masih ada ion Cd^{2+} dalam larutan yang terikat pada gugus S dari protein dinding sel. Pada saat tertentu sel akan mengalami kejenuhan dan berada pada fase kematian (Artanti, 2005: 47).

Faktor-faktor yang mempengaruhi biosorpsi kadmium oleh *A. flavus*

a. Konsentrasi kadmium

Proses biosorpsi kadmium juga sangat dipengaruhi konsentrasi kadmium. Biosorpsi kadmium akan meningkat sejalan dengan kenaikan konsentrasi kadmium sampai *binding site* mengalami kejenuhan (Kok *et al.*, 2002a: 332).

b. Konsentrasi biomassa *A. flavus*

Konsentrasi biomassa *A. flavus* rendah dapat menyebabkan kenaikan penyerapan kadmium, sebaliknya dapat terjadi (Fourest & Roux, 1992; Gadd *et al.*, 1988) dalam Ahalya *et al.*, 2002: 6). Semakin tinggi konsentrasi biomassa *A. flavus* maka semakin tinggi penyerapan kadmium tetapi dapat pula menyebabkan penurunan biosorpsi kadmium. Kok *et al.* (2002a: 333) menyatakan bahwa kenaikan konsentrasi biosorben (biomassa *A. flavus*) akan menyebabkan perubahan ekuilibrium antara logam (Cd^{2+}) bebas, biosorben bebas, dan biosorben yang mengikat logam. Hal ini dapat menyebabkan gangguan dalam pembentukan kompleks logam-biosorben. Walaupun begitu faktor ini perlu diperhatikan pada penggunaan *A. flavus* sebagai biosorben kadmium.

c. pH

pH sangat mempengaruhi biosorpsi oleh sel mikroorganisme termasuk *A. flavus* (Sag *et al.*, 1995 dalam Kok *et al.*, 2002a: 333). pH mempengaruhi larutan

kimia yang mengandung logam, perilaku gugus-gugus fungsional pada biomassa dan kompetisi antar logam (Friis & Myers-Keith, 1986; Galun *et al.*, 1987 dalam Ahalya *et al.*, 2002: 6). Penelitian Kok *et al.* (2002b: 475) menunjukkan bahwa nilai pH optimum untuk biosorpsi logam berat (Cd) tergantung pada strain *A. flavus* yang digunakan. Biosorpsi kadmium oleh *A. flavus* 44-1 semakin tinggi seiring dengan kenaikan pH (pH 1 sampai 4 dan paling konstan pada pH 5). Hal ini diduga karena adanya kenaikan muatan negatif pada sel *A. flavus* sehingga menyebabkan proton (Cd^{2+}) pindah ke sel. Darnall *et al.* (1986) dalam Kok *et al.* (2002a: 334) melaporkan bahwa pada saat nilai pH di atas titik isoelektrik sel mikroorganisme maka akan ada muatan negatif pada sel tersebut. Fase ionik gugus fungsional seperti karboksil, fosfat, imidazol, dan amino akan bereaksi dengan ion logam. Sedangkan pada pH lebih rendah dari titik isoelektrik maka muatan ion permukaan sel akan positif sehingga akan menghambat ikatan dengan logam (kation). Harris & Ramelow (1990) dalam Jasmedi (1998: 158) memperkirakan bahwa muatan titik nol atau titik isoelektrik gugus fungsi protein penyusun dinding sel mikroorganisme terdapat pada pH 3. Ketika nilai pH lebih kecil dari 3 maka *binding site* bermuatan positif. Sedangkan pH lebih besar dari 3 maka *binding site* bermuatan negatif. Hal ini akan menyebabkan timbulnya daya tarik elektrostatik antara ion Cd^{2+} dengan *binding site* pada dinding sel yang bermuatan negatif.

d. Suhu

Informasi mengenai pengaruh suhu terhadap biosorpsi masih terbatas. Suhu berpengaruh terhadap biosorpsi karena suhu mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme sel mikroorganisme. Biosorpsi menggunakan sel mikroorganisme hidup menyebabkan akumulasi intraseluler dapat terjadi dan enzim seperti reduktase akan sangat berperan (Kok *et al.*, 2002b: 477). Proses biosorpsi tidak akan mengalami perubahan selama suhu berada dalam kisaran 20-35 °C (Aksu *et al.*, 1992 dalam Ahalya *et al.*, 2002: 6). Penelitian (Kok *et al.*, 2002b: 477) menunjukkan bahwa biosorpsi Cd^{2+} oleh *A. flavus* 44-1 paling tinggi pada suhu

60 °C dibandingkan pada suhu 15, 30, dan 50 °C. Hal ini dimungkinkan karena bentuk kimiawi Cd^{2+} paling mudah diambil oleh biosorben. Perubahan temperatur akan mengubah bentuk kimia ion Cd^{2+} di larutan sehingga akan mempengaruhi proses biosorpsi.

Kenaikan suhu tersebut juga akan mempengaruhi sel *A. flavus*. Domsch (1980: 90) menyatakan bahwa suhu maksimal untuk pertumbuhan *A. flavus* berkisar 47-48 °C sehingga pada suhu 60 °C dimungkinkan telah banyak sel *A. flavus* yang mengalami kematian. Walaupun demikian proses biosorpsi masih tetap dapat berlangsung. Kok *et al.*, (2002b: 477) mengemukakan bahwa penggunaan sel-sel mati sebagai biosorben dinyatakan lebih efektif karena gugus-gugus fungsional untuk berikatan dengan ion logam bertambah banyak. Hal ini dikarenakan kenaikan suhu dapat menyebabkan putusanya ikatan-ikatan yang ada pada penyusun dinding sel.

e. Keberadaan ion lain

Keberadaan kation logam tunggal dalam limbah industri jarang ditemukan. Biosorpsi biasanya digunakan untuk pengolahan limbah industri yang mengandung logam berat lebih dari satu karena itu biosorpsi satu jenis logam berat dapat dipengaruhi oleh keberadaan ion-ion lainnya. Sag (2001: 2) mengemukakan bahwa keberadaan ion-ion lain akan mempengaruhi proses biosorpsi oleh fungi. Ion-ion lain tersebut dapat bersifat antagonistik atau sinergistik dengan kadmium. Ting *et al.* (1991) dalam Kok *et al.* (2002b: 474) menyatakan bahwa biosorpsi juga tergantung pada jumlah logam yang berkompetisi untuk mendapatkan *binding site*, kombinasi logam, konsentrasi logam, urutan penambahan logam, dan waktu kontak. Penelitian Kok *et al.* (2002b: 475) menunjukkan bahwa biosorpsi Cd^{2+} oleh *A. flavus* 44-1 dipengaruhi oleh Cu dan Pb. Dengan adanya Pb maka biosorpsi kadmium akan turun sampai 2 kali lipat. Sedangkan Cd berkompetisi langsung dengan Cu untuk mendapatkan *binding site*.

PENUTUP

Simpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan:

1. *Aspergillus flavus* merupakan salah satu jenis fungi potensial sebagai biosorben kadmium.
2. Mekanisme biosorpsi kadmium oleh *A. flavus* secara umum yaitu tergantung metabolisme dan tidak tergantung metabolisme.
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi biosorpsi kadmium oleh *A. flavus* yaitu konsentrasi kadmium, konsentrasi biomassa *A. flavus*, pH, suhu, dan keberadaan ion lain.

Saran

1. Penelitian lebih lanjut mengenai kemampuan *A. flavus* sebagai biosorben logam berat selain kadmium.
2. Penelitian lebih lanjut species-species lain selain *A. flavus* sebagai biosorben kadmium potensial.
3. Melakukan isolasi dan seleksi strain *A. flavus* indigenous Indonesia yang potensial sebagai biosorben logam berat sehingga diharapkan mampu mengurangi pencemaran lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahalya, N., T.V Ramachandra, & R.D Kanamadi. (2002). Biosorption of Heavy Metals.
<http://wgbiss.ces.iisc.ernet.in/energy/water/paper/biosorption/biosorption.htm>
(14 Juli 2006)
- Ahmad, I., S. Zafar and F. Ahmad. (2005). Heavy metal biosorption potential of *Aspergillus* sp and *Rhizopus* sp isolated from wastewater treated soil. *J. of App. Scienc & Env. Management* **9** (1): 123-126
- Alexopoulus, C.J., Mims, C.W. & Blackwell, M. (1996). *Introductory Mycology*. 4th ed. John Wiley, New York

- Anonim. (2005). Penelitian penurunan kadar logam dari limbah pertambangan bijih emas dan batubara secara biosorpsi. <http://www.tekgira.esdm.go.id/kp/lingkungan/kadarlogam.asp> (14 Juli 2006)
- _____. (2006). Study of biosorption of Cu from its aqueous solution using tempe. <http://www.eng.usm.my/~chroslee/kelas/final-final-year-thesis/tempe-Cu.htm> (14 Juli 2006)
- Artanti, M.O. (2005). Biosorpsi logam kadmium menggunakan ragi *Yarrowia lipolytica* strain H222. *Skripsi*. Yogyakarta: FMIPA UNY
- Breireva, E., I. Vajczikova, V. Sasinkova, E. Stratilova, M. Fisera, T. Gregor, & J. Sajbidor (2002). Biosorption of cadmium ions by different yeast species. *Z. naturforsch* **57**©: 634-639.
- Darmono (2001). *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Jakarta: UI Press
- Deacon, J.W. (1997). *Modern Mycology*. 3rd ed. Balckwell Science Ltd. Oxford: vi + 303
- Domsch, K.H., W. Gams & T.H. Anderson. 1980. *Compendium of soil fungi*. Vol 1. Academic Press, London: vii + 859 hlm.
- Gandjar, I., R.A. Samson, K. van-den Tweel-Vermeulen, A. Oetari & I. Santoso. 1999. *Pengenalan kapang tropik umum*. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta: xiv + 136 hlm.
- Hafez, N., A.S.A.razek, & M.B. Hafez (1999). Accumulation of some heavy metals on *Aspergillus flavus*. <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/abstract/8743/abstract> (14 Juli 2006)
- Hildebrand, C.E., B.D. Crawford, M.D. Enger (1994). Coordinate amplification of metallothienin I and II gene sequences in cadmium-resistant CHO variant. *Environment health perspect* **102**(3): 107-113
- Jasmidi. (1998). Pengaruh pH awal larutan terhadap biosorpsi timbal dan seng oleh biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. *Prosiding Semnas Kimia III*. Yogyakarta: Jur. Kimia FMIPA UGM.
- Junior, L.M.B., G.R. Macedo, M.M.L. Duarte, E.P. Silva, & A.K.C. Lobato (2003) Biosorption of cadmium using the fungus *Aspergillus niger*. *Braz.J. Chem. Eng* **20** (3): 1-15

- Kok, K.H., M.I.A. Karim, A.B. Ariff, and S. Abd-Aziz. (2002a). Application of live and non-metabolizing cells of *Aspergillus flavus* strain 44-1 as biosorbent for removal of lead from solution. *Pakistan Journal of Biological Sci.* **5**(3): 332-334
- Kok, K.H., M.I.A. Karim, A.B. Ariff, and S. Abd-Aziz. (2002b). Removal of cadmium, copper and lead from tertiary metals system using biomass of *Aspergillus flavus* strain 44-1. *Pakistan Journal of Biological Sci.* **5**(4): 474-478
- Kumar, S.M. (2006). Biosorption. <http://www.cheresources.com/biosorption.shtml> (14 Juli 2006)
- Maman, R. (2005). Pendidikan Kesejahteraan keluarga intoksinasi. Yogyakarta: Jurdik Biologi FMIPA UNY
- Sag, Y. (2001). Biosorption of heavy metals by fungal biomass and modelling of biosorption: A review. <http://taylorandfrancis.metapress.com/index/WG46257331X70468.pdf>
- Suhendrayatna (2001). Bioremoval logam berat kadmium dengan menggunakan mikroorganisme: suatu kajian kepustakaan. Makalah disampaikan pada *Seminar on air bioteknologi untuk Indonesia abad 21*, 1-14 Februari 2001
- Vieira, R.H.S.F. and B. Volesky. (2000). Biosorption: a solution to pollution? *Internatl Microbiol* **3**: 17-24