

PROSES BIOSORBSI DENGAN MENGGUNAKAN MIKROORGANISME SEBAGAI SALAH SATU ALTERNATIF *BIOREMOVAL* LOGAM BERAT DALAM LINGKUNGAN TERCEMAR

Oleh :

Dyah Purwaningsih

Juridik Kimia FMIPA UNY

Abstrak

Tulisan berikut merupakan kajian yang luas mengenai proses biosorpsi logam berat yang melibatkan mikroorganisme. *Bioremoval* didefinisikan sebagai terakumulasi dan terkonsentrasinya zat polusi (polutan) dari suatu lingkungan perairan yang tercemar oleh bahan biologi yang selanjutnya melalui proses *recovery* (pengunduhan kembali) bahan ini dapat dibuang dan ramah terhadap lingkungan. Salah satu cara dari *bioremoval* adalah biosorpsi. Biosorpsi adalah proses penyerapan logam yang terjadi tidak tergantung pada metabolisme, terutama terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan eksternal lainnya melalui mekanisme fisika dan kimia. Berbagai jenis mikroorganisme yang kapasitasnya sebagai bahan biologi diketahui dapat mengakumulasi logam berat dalam jumlah besar. Fenomena ini dapat digunakan sebagai dasar pengembangan *bioremoval* sehingga potensial dan layak diaplikasikan pada teknologi *removal* dan proses *recovery* ion logam berat dari suatu lingkungan tercemar. Pemilihan variabel dan parameter dasar desain dan operasi yang baik dibutuhkan untuk mendapatkan aplikasi terbaik bagi proses *bioremoval* ion logam berat. Teknologi yang melibatkan mikroorganisme dalam mengatasi permasalahan lingkungan masih dalam pengembangan. Penelitian dan kajian-kajian yang berkesinambungan dapat menentukan proses terbaik untuk mengatasi permasalahan ion logam berat di lingkungan tercemar.

Kata kunci: logam berat, *bioremoval*, biosorpsi, mikroorganisme

I. PENDAHULUAN

Hasil pengujian laboratorium Polri yang menyatakan bahwa Teluk Buyat memang tercemar merkuri seolah menjadi the *broken window* polemik pencemaran di Teluk Buyat (Kompas, 2004). Polemik kasus pencemaran akibat kegiatan penambangan dan kaitannya dengan lingkungan perairan memang bukan masalah di Indonesia saja. Pertumbuhan industri dan kemajuan teknologi yang pesat telah membawa dampak terhadap lingkungan dengan dihasilkannya buangan hasil industri yang mengandung zat-zat kimia yang berbahaya. Di antara zat-zat kimia yang berbahaya tersebut adalah logam berat. Logam berat banyak digunakan dalam bidang industri karena memiliki banyak keunggulan sifat di antaranya kemampuannya membentuk paduan dengan logam lain, dan mampu menghantarkan listrik dan panas.

Pencemaran logam berat, baik yang ditimbulkan oleh proses alami maupun aktivitas manusia, menjadi masalah lingkungan yang sangat serius. Akibat utama dari pencemaran logam berat yang berasal dari limbah domestik maupun industri salah satunya adalah tercemarnya sistem perairan. Pada konsentrasi tinggi, keberadaan ion logam berat dapat meracuni kehidupan perairan. Pada konsentrasi rendah, organisme tingkat rendah seperti plankton, akan mengadsorpsi

dan mengakumulasiannya di dalam sel. Bila organisme perairan yang lebih tinggi seperti ikan memakan plankton-plankton tersebut, maka akan terjadi akumulasi logam berat di dalam tubuh ikan. Akhirnya, bila ikan-ikan tersebut dikonsumsi oleh manusia, akan dapat menimbulkan gangguan kesehatan yang serius terutama berkaitan dengan sistem syaraf (Wisjnuprpto, 1996).

Pemisahan logam berat dari air buangan sangat penting dilihat dari sudut pandang lingkungan. Berbagai cara telah dilakukan untuk memisahkan logam berat dari air buangan, yaitu cara fisika, kimia dan biologi (Wisjnuprpto, 1996). Logam berat tidak dapat dikonversi atau didegradasi. Pengolahan secara biologi hanya merupakan upaya untuk memisahkan logam berat tersebut dari air buangan dengan menggunakan mikroorganisme.

Hampir semua logam berat dapat dipisahkan dengan cara pengendapan pada kondisi pH tinggi. Oleh karena itu pada umumnya, cara pemisahan yang sering digunakan adalah cara kimia, yaitu cara pengendapan dengan pH tinggi yang dilakukan dengan menambahkan bahan kimia agar terjadi pengendapan hidroksida. Pengolahan secara fisika yang umum dilakukan adalah absorpsi menggunakan karbon aktif atau dengan cara penyaringan menggunakan membran. Menurut Suyono (1996), pengolahan secara fisika-kimia dibebani suatu harapan terpenuhinya kriteria efisien (tidak mahal) dan efektif. Namun ternyata cara tersebut tidak memenuhi kedua kriteria secara komprehensif. Menurut Harris dan Ramellow (1990), cara tersebut membutuhkan teknologi tinggi, serta peralatan dan sistem monitor yang mahal. Selain itu, kelemahan cara ini adalah dimasukkannya bahan kimia lain dalam proses pemisahannya. Oleh karena itu, perlu dikembangkan suatu sistem pengolahan yang menggunakan bahan (material) murah untuk memisahkan logam berat dari air buangan. Pemanfaatan kemampuan beberapa mikroorganisme dalam menyerap logam-logam berat merupakan alternatif yang perlu dipelajari.

Mikroorganisme di antaranya khamir, jamur, bakteri dan alga dapat menyerap logam-logam berat dan radionuklida dari lingkungan eksternalnya (Gadd, 1992). Jumlah logam yang terserap cukup besar, dan berbagai mekanisme fisika, kimia dan biologi mungkin terlibat dalam penyerapan ini termasuk adsorpsi, pengendapan, pembentukan kompleks, dan pertukaran kation. Menurut Polikarpov (1996), kemampuan penyerapan logam oleh mikroorganisme tidak bergantung pada hidup matinya sel, karena sel yang mati menunjukkan sifat yang sama dengan sel yang hidup. Jamur dan khamir mendapat perhatian yang besar sebagai penyerap logam, terutama karena keduanya dapat diperoleh dari industri fermentasi (Gadd, 1992).

Beranjak dari bahasan di atas, terlihat bahwa sangat diperlukan suatu kajian teknologi alternatif dalam menangani permasalahan kontaminasi logam berat di lingkungan. Dalam kajian berikut penulis akan membahas biosorpsi ion logam berat dengan menggunakan mikroorganisme, sebagai salah satu alternatif proses yang dapat dikembangkan.

II. PEMBAHASAN

Toksisitas logam berat dan standar kesehatannya

Kontaminasi logam berat di lingkungan merupakan masalah besar dunia saat ini. Persoalan spesifik logam berat di lingkungan terutama karena di lingkungan terutama karena akumulasinya sampai pada rantai makanan dan keberadaannya di alam, serta meningkatnya sejumlah logam berat yang menyebabkan keracunan terhadap tanah, udara dan air meningkat. Proses industri dan urbanisasi memegang peranan penting terhadap peningkatan kontaminasi tersebut. Suatu organisme akan kronis bila produk yang dikonsumsi mengandung logam berat.

Menurut USEPA (*U.S. Environmental Agency*) terdapat 13 unsur logam berat yang merupakan polutan utama. Beberapa ion logam berat, seperti arsenik, timbal, kadmium dan merkuri pada kenyataannya berbahaya bagi kesehatan manusia dan kelangsungan kehidupan di lingkungan. Berikut ini penjelasan singkat mengenai logam beserta dan standar kesehatannya.

Antimoni (Sb) dapat dijumpai secara alamiah di lingkungan dalam jumlah yang kecil, tetapi dengan adanya kegiatan industri unsur ini dapat dijumpai dalam jumlah cukup besar. Seperti halnya arsenik, Sb bervalensi tiga lebih beracun dibandingkan dengan Sb bervalensi lima

Arsenik (As) diakui sebagai unsur utama bagi sebagian hewan dan tumbuhan, namun As juga dikenal sebagai "*king of poison*". Pada permukaan bumi, As berada pada urutan ke- 20 sebagai unsur yang berbahaya, ke- 14 di lautan, dan unsur ke- 12 yang berbahaya bagi manusia (Kaim, 1994). Senyawa ini labil dalam bentuk oksida dan tingkat racunnya sama seperti yang dimiliki oleh beberapa unsur lainnya, sangat tergantung pada bentuk struktur kimianya. Tingkat toksisitas senyawa ini adalah arsin > arsenit (anorganik, valensi tiga) > arsenoksida (organik, valensi tiga) > arsenat (anorganik, valensi lima) > metil arsen. Senyawa metil arsen memiliki tingkat energi yang sangat rendah bila dibandingkan senyawa arsen yang lainnya. Tingkat toksisitasnya adalah monometil arsen (MMA) > dimetil arsen (DMA) > trimetil arsen (TMA) \approx 0. Arsenik dapat berikatan kuat dengan gugus thiol dan protein, menyebabkan penurunan kemampuan koordinasi penggerak, gangguan pada urat syaraf, pernafasan, serta ginjal. Beberapa negara seperti Jepang dan Jerman pada tahun 1993 telah mengubah batas maksimum yang diizinkan untuk kandungan arsenik di perairan dari berbagai 0,05 ppm menjadi 0,01 ppm, sedangkan bagi Indonesia dan negara Asia lainnya angka tersebut masih 0,05 ppm. (www.chemicalelements.com/elements/as.html - 8k)

Kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang berbahaya karena unsur ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal (Kaim, 1994). Jumlah normal kadmium di tanah berada di bawah 1 ppm, tetapi dapat mencapai 1700

ppm pada sampel tanah yang diambil di dekat pertambangan bijih seng (Zn). Kadmium, timbal dan merkuri dikenal sebagai “*the big three heavy metal*” yang memiliki tingkat bahaya tertinggi bagi manusia. Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi perminggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 μg perorang atau 7 μg per kg berat badan (www.chemicalelements.com/elements/cd.html - 8k).

Kromium (Cr) merupakan unsur berbahaya di permukaan bumi dan terdapat dalam bentuk oksida antara Cr (II) sampai Cr (VI), tetapi hanya Cr (III) dan Cr (VI) yang memiliki sifat biologis yang mirip. Cr (III) memiliki sifat racun yang rendah dibandingkan dengan Cr (VI) (Kaim, 1994). Pada bahan makanan dan tumbuhan mobilitas kromium relatif lebih rendah dan diperkirakan konsumsi harian komponen ini di bawah 100 μg , kebanyakan berasal dari makanan, sedangkan konsumsinya dari air dan udara dalam level yang lebih rendah (www.chemicalelements.com/elements/cr.html - 8k).

Logam Co memiliki tingkat racun yang tinggi terhadap tumbuhan. Kebanyakan tumbuhan memerlukan unsur ini dalam konsentrasi tidak lebih dari 1 ppm (Kaim, 1994).

Tembaga (Cu) bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan di atas 0,01 ppm. Konsentrasi yang aman bagi manusia tidak lebih dari 1 ppm (kaim, 1994). Konsentrasi normal unsur ini di tanah berkisar 20 ppm dengan tingkat mobilitas sangat lambat karena ikatan yang sangat kuat dengan material organik dan mineral tanah liat (Kaim, 1994). Tembaga sering terdapat dalam limbah industri seperti pewarnaan, kertas, minyak, industri pelapisan.

Timbal (Pb) merupakan logam berat yang sangat beracun, dapat dideteksi pada seluruh benda mati di lingkungan di seluruh sistem biologis. Sumber utama timbal berasal dari komponen gugus alkil timbal yang digunakan sebagai bahan aditif bensin. Komponen ini beracun terhadap seluruh aspek kehidupan. Timbal beracun pada sistem syaraf dan mempengaruhi kerja ginjal (Kaim, 1994). Konsumsi mingguan elemen ini yang direkombinasikan oleh WHO toleransinya bagi orang dewasa adalah 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan dan untuk bayi atau anak-anak 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan (www.chemicalelements.com/elements/cr.html)

Keracunan merkuri (Hg) pertama kali dilaporkan di Minamata, Jepang pada tahun 1953. Sebagai hasil dari kuatnya interaksi antara merkuri dan komponen tanah lainnya, penggantian bentuk merkuri dari satu bentuk ke bentuk lainnya selain gas biasanya sangat lambat. Proses metilasi merkuri biasanya terjadi di alam di bawah kondisi terbatas, membentuk satu dari sekian banyak unsur berbahaya, karena dalam bentuk ini merkuri sangat mudah terakumulasi pada rantai makanan (Kaim, 1994).

Unsur Ni cenderung lebih beracun pada tumbuhan. Total nikel yang terkandung dalam tanah berkisar 5-500 ppm. Konsentrasi pada air tanah biasanya berkisar 0,005-0,05 ppm, dan kandungan pada tumbuhan yang biasanya tidak lebih dari 1 ppm (Kaim, 1994).

Penggunaan unsur Zn pada proses peleburan besi sangat luas. Seng biasanya dijumpai pada tanah dengan level 10-300 ppm dengan perkiraan kasar rata-rata 30-50 ppm. (Kaim, 1994).

Stronsium (Sr) sering digunakan untuk menggantikan peranan kalsium pada tulang dan bahkan lebih aktif bila dibandingkan dengan kalsium (Kaim, 1994).

Selenium (Se) merupakan unsur utama bagi hewan dan juga merupakan unsur pencemar yang dapat didegradasi pada sistem akuatik. Selenium masuk ke lingkungan secara alami sejalan dengan kegiatan manusia. Secara normal, selenium berada pada organisme perairan melalui proses perubahan cuaca secara alami. (Kaim, 1994).

Mekanisme Proses *Bioremoval*

Bioremoval didefinisikan sebagai terakumulasi dan terkonsentrasinya zat polusi (polutan) dari suatu lingkungan perairan yang tercemar oleh bahan biologi, selanjutnya melalui proses *recovery* (pengunduhan kembali) bahan ini dapat dibuang dan ramah terhadap lingkungan. (Wilde, 2003). Salah satu mekanisme proses *bioremoval* adalah proses biosorpsi.

Proses biosorpsi adalah proses penyerapan logam yang terjadi tidak tergantung pada metabolisme, terutama terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan eksternal lainnya, melalui mekanisme kimia dan fisika, misalnya pertukaran ion, pembentukan kompleks dan adsorpsi (Gadd dan White, 1993; Gadd, 1992; Hancock, 1996a). Mekanisme terpenting untuk akumulasi logam berat oleh mikroorganisme adalah biosorpsi, dimana ion-ion logam dalam larutan teradsorpsi pada permukaan mikroorganisme melalui interaksi dengan gugus fungsi kimia yang ditemukan pada dinding sel. Biosorpsi merupakan proses dominan dari semua proses yang terlibat dalam penyerapan logam, terutama untuk timbal, aluminium, uranium dan thorium (Gadd, 1993), berlangsung cepat dan terjadi sama baiknya antara mikroorganisme hidup dan mati (Gadd, 1990; Hancock, 1996c). Penyerapan logam melibatkan ikatan ion dan kovalen dengan biopolimer, di antaranya protein dan polisakarida sebagai sumber gugus fungsi yang berperan penting dalam mengikat ion logam. Gugus ligan yang tersedia merupakan gugus bermuatan negatif seperti karboksilat, fosfat, fosfodiester dan thiolat atau gugus amida yang berkoordinasi dengan atom pusat logam melalui pasangan elektron bebas (Gadd, 1990a; Hughes dan Poole, 1989).

Mikroorganisme seperti alga, fungi, yeast dan bakteri secara efisien dapat menyerap logam-logam berat dan radionuklida dari lingkungannya (Gadd, 1993). Secara umum, terdapat dua jenis penyerapan logam berat oleh mikroorganisme, yaitu penyerapan logam yang tidak

tergantung pada metabolisme (*metabolism-independent*) yang terjadi pada permukaan sel dan penyerapan logam yang tergantung pada metabolisme (*metabolism-dependent*) yang menyebabkan terakumulasinya logam di dalam sel (Hughes dan Poole, 1989; Gadd, 1990b).

Proses penyerapan logam yang tergantung pada metabolisme hanya terjadi pada sel mikroorganisme hidup, menyebabkan terakumulasinya logam di dalam dan di bagian pinggir intraselluler sel. Proses ini berlangsung lambat dan secara kritis sangat tergantung pada nutrient dan kondisi lingkungan, seperti pH larutan dan suhu (Gadd, 1990a; Hancock, 1996b).

Di samping itu, jamur dan yeast (khamir) dapat mensintesis suatu protein kecil yang disebut metallothionein dan fitokelatin. Metallothionein adalah polipeptida kecil yang kaya sistein yang dapat mengikat logam esensial dan non esensial.

Standberg, *et al.* (1981), telah meneliti penyerapan uranium oleh biomassa *Saccharomyces cerevisiae* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Dilaporkan bahwa uranium terserap pada dinding sel *S. cerevisiae*, laju dan jumlah serapan dipengaruhi oleh parameter pH larutan awal, suhu, dan adanya kation tertentu. Penyerapan oleh *P. aeruginosa* terjadi secara intraseluler dan tidak dipengaruhi oleh parameter lingkungan. Uranium yang terserap pada sel mikroorganisme mencapai 10 sampai 155 dari berat sel kering, tetapi hanya sekitar 32% dan 40% dari keseluruhan populasi sel *S. cerevisiae* dan *P. aeruginosa* yang ditempati oleh uranium. Penyerapan uranium oleh biomassa *S. cerevisiae* tidak dipengaruhi oleh proses metabolisme sel. Serapan maksimum diperoleh antara pH 3 dan 4 dan laju penyerapan meningkat pada suhu antara 20⁰C dan 50⁰C. Adanya asam-asam amino dikarboksilat seperti asam glutamat dan asam aspartat dalam larutan menurunkan penyerapan uranium oleh *S. cerevisiae* secara tajam. Keberadaan kation divalen, di antaranya kation Ca²⁺ mempengaruhi penyerapan uranium, sedangkan keberadaan kation monovalen K⁺ tidak mempengaruhi serapan. Di samping itu diperoleh fakta bahwa uranium membentuk kompleks dengan polimer fosfomanan khamir dan ditemukan bahwa kapasitas pengomplekan uranium tergantung pada kandungan fosfat dalam polimer fosfomanan dimaksud.

Harris dan Ramelow (1990) telah meneliti kemampuan pengikatan ion Ag, Cu, Cd dan Zn menggunakan galur *C. Vulgaris* dan *Scenedesmus quadricauda*. Kedua alga memperlihatkan pola pengikatan yang sangat mirip untuk keempat ion logam di atas. Sebagian besar penyerapan logam dari larutan terjadi dalam waktu 1 menit. Pengikatan Cu, Cd dan Zn tidak saling mempengaruhi. Perak diikat dengan sangat kuat pada kisaran yang luas. Efisiensi penyerapan secara umum dengan urutan Ag>Cu>Cd>Zn.

Dalam penelitiannya tentang penyerapan beberapa logam berat oleh beberapa jenis biomassa, Volesky dan Holan (1985) melaporkan bahwa spesies alga *Ascomyces* dan

Sargassum dapat menyerap logam timbal dan kadmium secara efektif dari larutan yang sangat encer. Penyerapan logam-logam tersebut mencapai lebih dari 30% berat kering biomassa. Miselia jamur *Rhizopus* dan *Absidia* adalah penyerap yang sangat baik untuk logam timbal, kadmium, tembaga, seng dan uranium, dan juga mengikat logam-logam berat yang lain dengan serapan sampai 255 dari berat kering biomassa.

Interaksi antara kation logam dengan biomassa mikroorganisme melibatkan makromolekul permukaan sel, terjadi dengan kuat dan relatif tidak spesifik. Jenis interaksi khususnya pada khamir disimpulkan dalam tabel berikut (Hancock, 1996c)

Tabel 1. Jenis Interaksi Logam-Biomolekul pada Permukaan Sel Khamir

Jenis Interaksi	Jenis Makromolekul	Gugus Fungsional
Ionik	Fosfomanan	Fosfat
Polar (dipol-dipol)	Polisakarida Chitin dan Chitosan	Hidroksil, Amino, Karboksil
Gabungan	Protein	Amino, Hidroksil, Amida, Karboksil, Thiol
Mineralisasi	Polimer anion Mikroorganisme	Fosfat, Karboksilat

Interaksi ionik. Interaksi sederhana antara kation logam dengan gugus anionik pada permukaan makromolekul adalah interaksi yang utama dalam dinding sel dan kapsul bakteri. Interaksi ini mirip dengan pertukaran kation (Hancock, 1996c)

Interaksi Polar. Polisakarida yang terkandung dalam mikroorganisme dapat membentuk kompleks dengan ion ligan transisi melalui interaksi dipol-dipol antara kation logam dengan gugus polar seperti $-OH$, $-NH_2$ dan $C=O$ yang bermuatan negatif (Hancock, 1996c).

Interaksi kompleks dan ganda. Logam berat yang berikatan dengan protein akan menginaktifkan atau mendenaturasi protein. Ini merupakan prinsip toksisitas logam berat terhadap sel hidup. Karena protein mengandung gugus polar dan molekulnya sangat fleksibel dalam keadaan terdenaturasi, maka interaksinya dengan kation logam sangat kuat dan tidak spesifik (Butt dan Ecker, 1987).

Mineralisasi. Bioakumulasi logam oleh mikroorganisme dan reaksi kimia yang mengikutinya, pada pengikatan logam untuk membentuk senyawa logam tak larut, dikenal sebagai proses penting dalam membentuk mineral pada permukaan secara biogeokimia.

Kemampuan ion logam membentuk kompleks tergantung pada daya mempolarisasi, yaitu perbandingan antara muatan dan jari-jari ion logam dimaksud. Suatu kation dengan daya

mempolarisasi tinggi “disenangi” oleh ligan sebagai pusat muatan positif berkerapatan tinggi, sehingga menghasilkan interaksi yang kuat (Hughes dan Poole, 1989).

Ukuran ion yang semakin kecil dari kiri ke kanan, dalam Sistem Periodik menyebabkan peningkatan muatan inti. Hal ini menyebabkan kation logam alkali berinteraksi sangat lemah dengan ligan, tetapi kation logam alkali tanah Mg^{2+} dan Ca^{2+} berinteraksi lebih kuat.

Wood dan Kang Wang (1983), menyimpulkan urutan pembentukan kompleks dari ion-ion anorganik atas asam dan basa kuat serta asam dan basa lemah. Dalam tabel 2 ditunjukkan klasifikasi secara biologi, logam-logam dan ligan-ligan penting sebagai asam dan basa, kuat dan lemah. Ligan yang mempunyai atom donor dengan keelektronegatifan tinggi adalah basa kuat, sedangkan ligan dengan atom donor mudah terpolarisasi oleh basa lemah.

Secara umum, kation-kation kuat (asam Lewis) dengan ligan-ligan kuat (basa Lewis) akan membentuk kompleks yang sangat stabil, demikian juga asam-asam lemah dengan basa-basa lemah. Dari tabel 2 terlihat bahwa logam-logam berat toksik seperti Cd^{2+} , Hg^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , dan Co^{2+} adalah asam lemah dan antara (*intermediate*).

Tabel 2. Klasifikasi Asam dan Basa, Kuat dan Lemah

Asam		
Kuat	Antara	Lemah
H^+ , Na^+ , K^+ , Be^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Co^{3+} , As^{3+}	Fe^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}	Cu^+ , Ag^+ , Au^+ , Tl^+ , CH_3Hg^+ , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}
Basa		
Kuat	Antara	Lemah
H_2O , ROH, NH_3 , RNH_2 , OH^- , F^- , Cl^- , $-CO_2^-$, CO_3^{2-} , O^{2-} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}	Piridin, Br^- , NO_2^- , SO_3^{2-}	RSH , R_2S , SH^- , S^{2-} , CN^- , CO , SCN^- , $S_2O_3^{2-}$

R = gugus alkil atau aril

Sumber : Wood dan Kang Wang, 1983

Hughes dan Poole, 1989

Konsep Dasar Proses *Bioremoval*

Untuk mendesain proses pengolahan limbah yang melibatkan mikroorganisme dalam mengatasi permasalahan ion logam berat, secara proses *bioremoval* metodenya sangat sederhana. Mikroorganisme pilihan dimasukkan, ditumbuhkan dan selanjutnya dikontakkan dengan air yang tercemar ion-ion logam berat. Proses pengkontakkan dilakukan dalam jangka waktu tertentu yang ditujukan agar biomassa berinteraksi dengan ion-ion logam berat dan selanjutnya biomassa ini dipisahkan dari cairan. Kemudian biomassa yang terikat dengan ion logam berat diregenerasi untuk dipergunakan kembali atau dibuang ke lingkungan. Wilde dkk (1993) mengusulkan beberapa variabel yang perlu diperhatikan dalam mendesain dan mengoperasikan proses *bioremoval* dalam melibatkan mikroorganisme, seperti dijelaskan berikut ini:

Seleksi dan pemilihan biomassa yang sesuai serta perlakuan awalnya. Proses ini meliputi pemilihan gugus aktif yang sesuai, metode kulturisasi dan kondisi fisik biomassa. Walaupun ada beratus jenis spesies mikroorganisme yang telah diidentifikasi sejak 200 tahun belakangan ini, namun sangat sedikit di antaranya teridentifikasi sebagai mikroorganisme yang mempunyai daya tahan yang tinggi terhadap pengaruh tingkat keracunan suatu ion logam berat.

Waktu tinggal dan waktu kontak proses. Waktu tinggal dan waktu kontak juga merupakan variabel yang sangat berpengaruh terhadap desain proses *bioremoval*, termasuk di dalamnya immobilisasi sel, pH dan konsentrasi biomasa.

Proses pemisahan dan recovery (pengunduhan kembali) biomassa. Proses pemisahan dan pengunduhan kembali merupakan proses pemisahan biomassa dari air terpolusi setelah pengolahan berhubungan dengan proses pembuangan logam berat dari suatu biomassa. Proses sentrifugasi dan filtrasi yang saat ini dilakukan di laboratorium dinilai tidak praktis bila diterapkan pada proses industri.

Pembuangan biomassa yang telah digunakan. Pembuangan limbah merupakan aspek yang terpenting dari suatu proses *bioremoval*, walaupun hal ini sebenarnya diabaikan oleh beberapa literatur yang menekankan bahwa proses biologis dapat menengahi proses *removal* ion logam berat dari suatu limbah. Di samping itu terjadi banyak masalah yang menyangkut lahan dan lautan dalam pembuangan lumpur yang mengandung ion logam berat sehingga metode yang ramah lingkungan sangat diperlukan untuk dikembangkan. Penggunaan biomassa memiliki beberapa pandangan yang berhubungan dengan pengunduhan kembali dan pembuangan ikatan logam, terutama di dalamnya, pada banyak kasus, logam yang berikatan dapat dibuang dan biomassa dapat digunakan kembali untuk beberapa siklus proses; dan kedua, biomassa yang berikatan dengan logam berat dapat direduksi dengan menggunakan sistem pengeringan.

Pertimbangan ekonomis proses. Pertimbangan ekonomis sangat penting untuk diperhatikan dalam mengevaluasi seluruh proses. Produksi biomassa suatu mikroorganisme, khususnya mikroalga sangat mahal biayanya. Dua jenis alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina* yang biasa diproduksi secara komersial di Meksiko, Israel, Thailand, dan US tersedia dengan biaya produksi \$10-20 per kg. Namun demikian, produksi dalam jumlah yang besar dapat menekan biaya produksi. Ketika pengunduhan kembali logam berat dilakukan dengan pertimbangan ekonomis, maka perlu juga dipertimbangkan pendekatan secara teknis yang menyangkut mekanisme akumulasi logam berat dengan menggunakan mikroorganisme.

III. KESIMPULAN

Tulisan di atas memberikan pandangan dan kajian luas menyangkut perkembangan yang cepat di bidang *removal* yang melibatkan mikroorganismenya. *Bioremoval* merupakan pendekatan yang potensial dan secara ekonomis layak dipergunakan untuk teknologi pembuangan dan pengunduhan kembali logam berat dari suatu lingkungan tercemar. Pemilihan variabel dan parameter sebagai dasar desain dan operasi yang baik sangat dibutuhkan untuk mendapatkan aplikasi terbaik bagi proses *bioremoval* dalam *recovery* logam berat di lingkungan. Teknologi yang melibatkan mikroorganismenya dalam mengatasi permasalahan lingkungan masih dalam pengembangan dan masih banyak pekerjaan yang dibutuhkan ke arah itu. Penelitian-penelitian dan kajian-kajian yang berkesinambungan dapat menentukan proses terbaik untuk menjawab permasalahan ion logam berat di lingkungan.

IV. DAFTAR PUSTAKA

- Diawati, C. (1997). *Biosorpsi Seng oleh Biomassa Saccharomyces cerevisiae*, Tesis Magister Sains, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Gadd, G.M. (1990a). *Biosorption*. Chem & Ind., 13: 421-426
- Gadd, G.M. (1990b). *Metal Tolerance, In Microbiology of Extreme Environments*, Edwards, C., (ed), Open University Press, Milton Keynes, pp, 178-210
- Gadd, G.M. (1992). *Microbial Control of Heavy Metal Pollution*, In Microbial Control of Pollution, Fry, J.C., Gadd, G.M., Herbert., R.A., Jones, R.W. & Watson Craik, I.A. (eds), Society for General Microbiology Symposium, Cambridge University Press, UK, pp. 59-88
- Hancock, J.C. (1990c). *Mechanisms of Passive Sorption of Heavy Metal by Biomass and Biological Products*, In Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation, IUC Biotechnology, Gadjah Mada University, Yogyakarta, September 18-20, 1996
- Harris, R.O., & Ramelow, G.J. (1990), *Binding of Metal Ions by Particulate Biomass Derivat from Chlorella vulgaris and Scenedesmus quadricauda*, Environ. Sci. Tech., 224, 220-227
- Fauzi, A. (2004, 31 Agustus). *Menyikapi Polemik Kasus Buyat*. Kompas, 34
- Kaim, W., & Schwederski, B. (1991), *Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life*. New York: John Wiley & Sons
- Nurdin. (1995). Tesis Magister Sains, *Biosorpsi Tembaga dan Krom oleh Biomassa Aspergillus niger*, Tesis Magister Sains, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- NN. 2004. *Chromium*. www.chemicalelements.com/elements/cr.html - 8k (diakses tanggal 31 Desember 2004)

- NN. 2004. **Arsenic**. www.chemicalelements.com/elements/as.html - 8k (diakses tanggal 31 Desember 2004)
- NN. 2004. **Cadmium**. www.chemicalelements.com/elements/cd.html - 8k (diakses tanggal 31 Desember 2004)
- NN. 2004. **Plumbum**. www.chemicalelements.com/elements/pb.html - 8k (diakses tanggal 31 Desember 2004)
- Polikarpov, G.C. (1996), *In Radioecology of Aquatic Organism*, North Holland, New York
- Suyono. (1996). *Penunjukan Asam Humat sebagai Chelating Agent Alam untuk Penanganan Cemar Logam Berat di Perairan*, Media 18: 376-381
- Strandberg, G.W., Shumate II, S.E. and Parrot, Jr, J.R.. (1981). *Microbial Cells as Biosorbents for Heavy Metals: Accumulation of Uranium by Saccharomyces cerevisiae and Pseudomonas aeruginosa*, App. Environ., Microbiol., 41, 237-245
- Suhendrayatna, A.Ohki, T.Kuroiwa, S. Maeda.1999. *Appl. Organometal. Chem.*13, 128. www.istecs.org/Publication/Japan/010211_suhendrayatna.PDF (diakses tanggal 31 Desember 2004)
- Wilde, E.W.,and Benemann, JR. 2003. *Bioremoval of Heavy Metals by The Use of Microalgae*.www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uid (diakses tanggal 31 Desember 2004)
- Wilde, E.W.,and Benemann, JR. 1993. *Biotech. Adv.*, 11, 781-812
- Wisjnuaprpto. (1996). *Penyisihan Logam Berat dalam Buangan yang Diaplikasikan di Indonesia*, In Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation, IUC Biotechnology, Gadjah Mada University, Yogyakarta, September, 1996