

## PENGGUNAAN BIOMASSA *Aspergillus niger* VAN TIEGHEM DALAM BIOSORPSI KROM DARI LIMBAH PERTAMBANGAN NIKEL

Saefudin<sup>(1,v)</sup>, E. Fitriana<sup>(1)</sup>, Kusnadi<sup>(1)</sup>

Program Studi Biologi FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia  
Bandung, 40154,

<sup>(v)</sup> **Alamat korespondensi:**

Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia  
Bandung, 40154,

**e-mail:** [adenimi2000@hotmail.com](mailto:adenimi2000@hotmail.com)

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai penggunaan biomassa mati dari *Aspergillus niger* van Tieghem dalam upaya mengurangi kadar Krom dari larutan limbah pertambangan nikel hasil TCLP (*Toxicity Characterystic Leaching Procedure*) melalui proses biosorpsi. Penelitian ini dilakukan dengan menitik beratkan kepada pengaruh pH dan waktu kontak terhadap biosorpsi Krom. Biosorpsi merupakan teknologi baru yang terfokus kepada pemindahan logam berat dari limbah dengan menggunakan materi biologis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa serapan Krom oleh biomassa *A. niger* van Tieghem tidak dipengaruhi oleh pH tetapi dipengaruhi secara signifikan oleh lamanya waktu kontak. Penyerapan semakin rendah dengan seiring lamanya waktu kontak. Penyerapan Krom secara maksimum (79,77%) terjadi pada waktu kontak 1 jam pada pH 5.

**Kata kunci:** Biosorpsi, *A. niger* van Tieghem, Krom, pH, waktu kontak, *leaching*

### ABSTRACT

Sorption experiments using the *Aspergillus niger* van Tieghem fungus for Chromium removal from solution of nickel mining waste of TCLP (Toxicity Characterystic Leaching Procedure) result were carried out to study the factors influencing and optimizing the biosorption of this metal. In this work focuses on several variables affecting the degree of Chromium biosorption by *A. niger* van Tieghem, i.e. pH and contact time. Biosorption represents new technology which focuses on the removal of heavy metal from waste by using biological material. The result shows that the effectiveness of biosorption is not significantly influenced by pH, but is significantly influenced by contact time. Biosorption of Chromium by *A. niger* van Tieghem is a rapid process reaching 79,77% within one hour of contact at pH 5.

**Keyword:** Biosorption, *A. niger* van Tieghem, Chromium, pH, contact time, *leaching*

### PENDAHULUAN

Penggunaan logam berat dan senyawa organik secara intensif dalam industri pertambangan telah menimbulkan kontaminasi di tanah dan air, sehingga pencemaran logam berat di lahan sekitar penambangan dan peleburan logam tercatat sangat tinggi (Priyanto dan Prayitno, 2000). Logam berat

yang terkandung di dalam limbah padat dapat masuk dan mencemari lingkungan melalui proses pelindian (*leaching*).

Pelindian dapat terjadi secara alami maupun buatan di laboratorium. Pelindian buatan biasanya bertujuan untuk melakukan pengujian toksisitas limbah padat. Pengujian toksisitas secara kimia tersebut biasanya mengacu pada metode standar dari US EPA yang biasa dikenal dengan TCLP atau *Toxicity Characteristics Leaching Procedure*. TCLP adalah suatu metode analitik yang dipergunakan untuk mensimulasi atau menggambarkan proses pelindian yang terjadi di suatu lokasi penimbunan limbah. Metode ini juga dirancang untuk menentukan mobilitas bahan-bahan organik dan anorganik yang terdapat dalam limbah padat, cair ataupun multi fasa (Wood, 2002).

Limbah padat hasil pertambangan Nikel mengandung berbagai jenis logam, salah satunya adalah Krom. Logam Krom adalah jenis logam berat yang termasuk ke dalam skala prioritas beresiko medium terhadap lingkungannya (Volesky, 1999). Unsur Krom di dalam lingkungan terdiri dari dua valensi utama yaitu Krom (III) dan Krom (IV) (Anonim, 2002). Krom dibutuhkan sebagai nutrien yang esensial dan sangat dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit oleh beberapa organisme, tetapi pada kadar yang tinggi Krom dapat bersifat racun dan mutagenik (Yadav *et al.*, 2005).

Metode-metode remediasi berbasis fisika dan kimia telah dikembangkan dan diterapkan untuk mengatasi pencemaran (Priyanto dan Prayitno, 2000). Proses *removal* ion logam dari larutan dapat melalui beberapa metode yaitu osmosis, elektrodialisis, ultrafiltrasi, pertukaran ion (*ion-exchange*), presipitasi kimia (*chemical precipitation*), dan fitoremediasi (Ahalya *et al.*, 2003). Pencarian metode baru untuk memindahkan logam berbahaya dari limbah mengarah kepada biosorpsi. Proses biosorpsi adalah metode yang sangat sederhana. Mikroorganisme pilihan dimasukkan, ditumbuhkan dan selanjutnya dikontakkan dengan air yang tercemar ion-ion logam berat (Suhendrayatna, 2001).

Biosorpsi dapat diartikan sebagai kemampuan dari materi biologis yang dapat mengakumulasi logam-logam berat dari air yang tercemar melalui media metabolisme atau pengambilan melalui jalan kimia-fisika (Fourest dan Roux *dalam* Ahalya, 2003). Biosorpsi dapat juga

dikatakan sebagai sebuah kemampuan dari biomassa mikro yang inaktif/mati untuk mengikat dan menghimpun logam berat walaupun dari larutan yang sangat encer (Volesky, 2004).

Banyak faktor yang berpengaruh terhadap proses biosorpsi, tetapi ada faktor yang sangat mempengaruhi proses biosorpsi menurut Ahalya *et al.* (2003), yaitu pH dan waktu kontak. Parameter yang sangat penting dalam proses biosorpsi adalah pH, hal itu berpengaruh terhadap kelarutan kimia dari logam, aktivitas dari kelompok-kelompok yang fungsional di dalam biomassa dan kompetisi di antara ion-ion logam. Waktu kontak juga merupakan variabel yang sangat berpengaruh (Suhendrayatna, 2001), sehingga pada penelitian ini pH larutan dan waktu kontak dijadikan sebagai variabel bebas.

Menurut Volesky (2004), banyak organisme yang baik untuk digunakan sebagai *biosorbent* antara lain jamur. Bagian jamur yang berfungsi sebagai bahan penyerap logam berat adalah dinding sel jamur. Pada bagian ini terdapat *chitin*. *Chitin* melalui proses deasetilasi akan berubah menjadi *chitosan* (Marganof 2003). *Chitosan* inilah yang banyak berperan dalam mengikat logam berat dalam suatu larutan limbah.

Biomassa *Aspergillus niger* banyak digunakan dalam proses biosorpsi logam berat tetapi belum ada laporan penggunaannya untuk mengambil ion Krom dari hasil *leaching* atau pelindian limbah. Hasil pelindian dari limbah pertambangan merupakan larutan multi-logam. Melalui penelitian ini ingin dibuktikan bahwa biomassa *A. niger* dapat digunakan untuk menyerap dan mereduksi Krom dari hasil *leaching* atau pelindian limbah, sehingga menjadi alternatif sebagai salah satu cara penanganan limbah padat dari pertambangan secara biologi.

## **BAHAN DAN METODE**

Penelitian dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara Bandung, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral Jl. Jenderal Sudirman No. 623 Bandung.

## Alat

Alat-alat yang dipakai pada penelitian ini yaitu *Beaker glass*, tabung reaksi, gelas ukur, Erlenmeyer, Autoclave, indikator universal, *shaker*, timbangan listrik, *hot plate*, oase, sentrifuge, lampu spirtus, lemari pendingin, dan kapas.

## Bahan

Bahan-bahan yang dipakai ada beberapa macam medium, limbah padat (abu) pertambangan nikel, HNO<sub>3</sub> untuk menurunkan pH larutan limbah, limbah cair hasil pelindian (TCLP), kertas saring Whatman no. 1 untuk menyaring jamur dan hasil TCLP, air murni (*deionized water*) untuk mencuci jamur, dan kultur murni *Aspergillus niger* van Tieghem.

## Cara Kerja

Biomasa *A. niger* van Tieghem yang digunakan berasal dari pembiakan pada medium cair. Metode pembiakan mengacu pada metode yang dikembangkan oleh Kapoor *et al.* (1999).

Biomassa dicuci dengan air murni (*deionized water*). Kemudian biomassa direbus atau dimatikan dengan 250 ml 1N NaOH selama 15 menit, selanjutnya dicuci dengan air murni hingga pH larutan bekas cucian pada kisaran netral.

Setelah dicuci, biomassa dikeringkan pada oven suhu 60°C selama 12 jam dan dibuat bubuk dengan cara digiling dengan mortar. Biomassa yang telah digiling siap digunakan dalam tahap pengontakan.

Limbah tailing hasil proses desulfurisasi pada subproduksi pemurnian bijih nikel yang telah cair setelah melalui proses TCLP dan telah dianalisis pada penelitian pendahuluan siap untuk digunakan. Pada penelitian ini digunakan pH yang berbeda dengan rentang 2,3,4,5 (Darnall *et al.*, 1986). Waktu kontak yang digunakan adalah 1,2,3,4 jam. Pada penelitian Kovacevic *et al.* (2000) *Aspergillus niger* 405 tidak menyerap kembali logam atau kesetimbangan terjadi pada waktu 5 jam. Sebanyak 25 ml limbah dimasukkan kedalam masing-masing Erlenmeyer yang kemudian disesuaikan pH-nya mencapai rentang pH yang telah ditentukan, penyesuaian pH dilakukan dengan menambahkan HNO<sub>3</sub>.

Biomassa yang telah disiapkan sebanyak 40 mg (Hiu *et al.*, 2000) kemudian dimasukkan kedalam masing-masing Erlenmeyer yang telah diisi oleh limbah. Selanjutnya Erlenmeyer tersebut disimpan di dalam *shaker* dengan urutan acak yang telah ditentukan sebelumnya, kemudian digojok dengan kecepatan 125 rpm pada suhu kamar selama 1,2,3,4 jam. Biomassa kemudian dipisahkan dari limbah dengan cara disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman no. 1, selanjutnya disentrifus pada kecepatan 3000 rpm selama 30 menit dan supernatannya yang akan diukur dengan AAS.

Perhitungan jumlah konsentrasi logam Krom yang terserap ditentukan dengan menggunakan metode Langmuir dan dianalisis dengan menggunakan uji ANAVA dua arah yang dilanjutkan dengan uji Tukey pada taraf signifikansi 5 %. Uji Z-Score digunakan untuk membandingkan apakah sisa Krom yang terdapat dalam larutan setelah biosorpsi berada di atas atau di bawah baku mutu lingkungan. Konsentrasi logam – logam yang terlarut dalam analit (limbah hasil pengontakkan) ditentukan dengan SSA, dengan nyala udara asetilen pada panjang gelombang yang disesuaikan dengan jenis logamnya. Konsentrasi logam terserap ( $C_{\text{terserap}}$ ) adalah selisih dari konsentrasi logam mula – mula sebelum biosorpsi ( $C_{\text{awal}}$ ) dengan konsentrasi sisa ( $C_{\text{akhir}}/ C_{\text{eq}}$ ) (Hancock, 1996).

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Kadar logam Krom hasil AAS untuk larutan limbah hasil TCLP sebelum dilakukan proses biosorpsi adalah sebesar 24,50 mg/L. Jumlah ion yang terserap merupakan selisih antara konsentrasi logam sebelum dan sesudah perlakuan. Hasil secara keseluruhan ditampilkan pada Tabel 1-4. Pada tabel tersebut tampak bahwa penyerapan Krom tertinggi (79,77%/12,21 mg/g) terjadi pada waktu kontak satu jam pada pH 5 (Tabel 1). Sedangkan yang terendah (68,50%/10,49 mg/g) terjadi pada waktu kontak empat jam pada pH 5 (Tabel 4).

**Tabel 1. Kadar logam Krom setelah proses biosorpsi pada kondisi pH dan waktu kontak 1 jam**

pH	Krom awal (mg/ L)	waktu kontak 1 jam		
		Krom akhir (mg/ L)	Krom terserap (%)	serapan Krom/biomassa (mg/g)
2	24,50	5,39	77,99	11,94
3	24,50	5,27	78,49	12,02
4	24,50	5,39	78,00	11,94
5	24,50	4,96	79,77	12,21

**Tabel 2. Kadar logam Krom setelah proses biosorpsi pada kondisi pH dan waktu kontak 2 jam**

pH	Krom awal (mg/ L)	waktu kontak 2 jam		
		Krom akhir (mg/ L)	Krom terserap (%)	serapan Krom/biomassa (mg/g)
2	24,50	5,84	76,16	11,66
3	24,50	5,90	75,90	11,62
4	24,50	6,09	75,13	11,50
5	24,50	6,24	74,52	11,41

**Tabel 3. Kadar logam Krom setelah proses biosorpsi pada kondisi pH dan waktu kontak 3 jam**

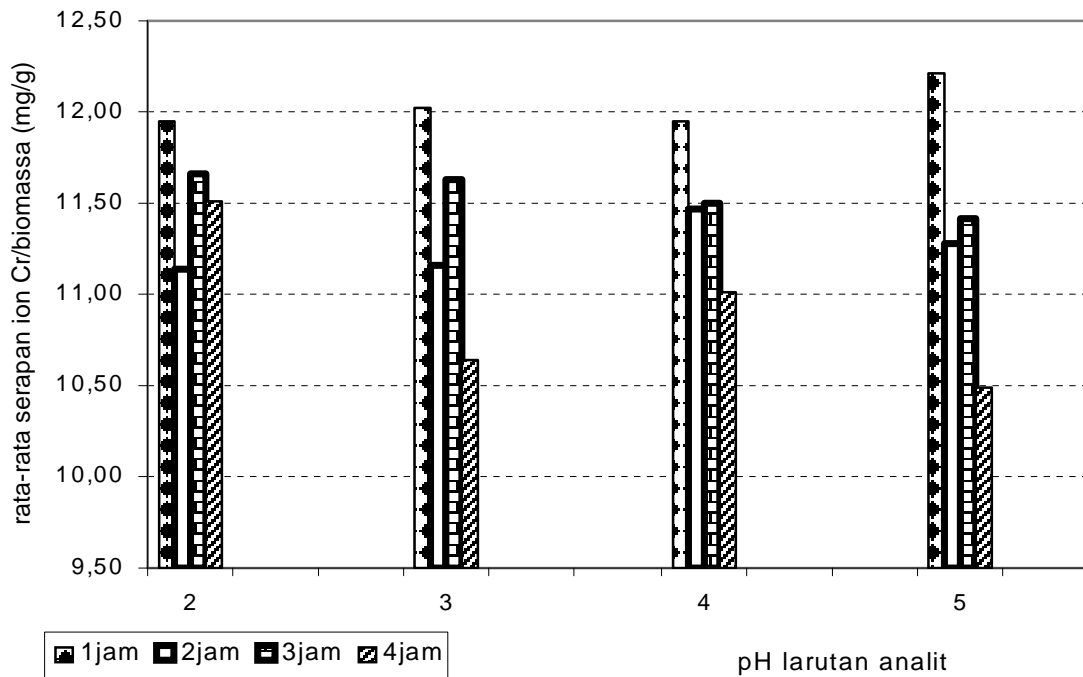
pH	Krom awal (mg/ L)	waktu kontak 3 jam		
		Krom akhir (mg/ L)	Krom terserap (%)	serapan Krom/biomassa (mg/g)
2	24,50	6,68	72,75	11,14
3	24,50	6,65	72,86	11,16
4	24,50	6,14	74,93	11,47
5	24,50	6,46	73,63	11,28

**Tabel 4. Kadar logam Krom setelah proses biosorpsi pada kondisi pH dan waktu kontak 4 jam**

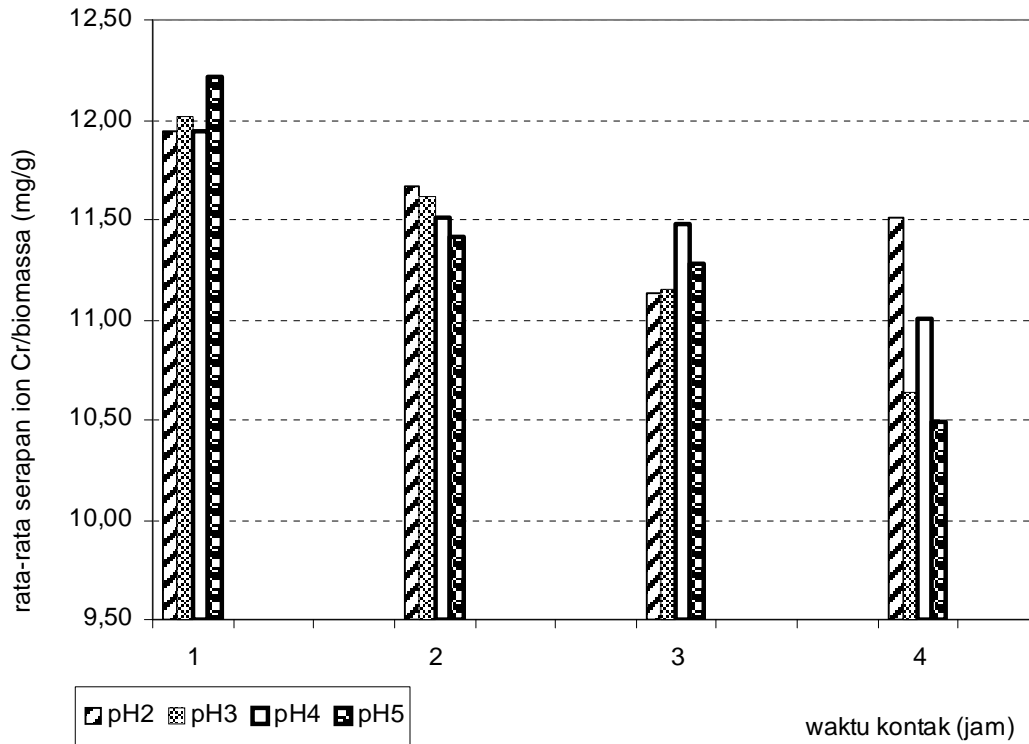
pH	Krom awal (mg/ L)	waktu kontak 4 jam			
		Krom akhir (mg/ L)	Krom terserap (mg/ L)	Krom terserap (%)	serapan Krom/biomassa (mg/g)
2	24,50	6,08	18,42	75,20	11,51
3	24,50	7,48	17,02	69,47	10,64
4	24,50	6,89	17,61	71,89	11,01
5	24,50	7,72	16,78	68,50	10,49

### Pengaruh tingkat keasaman terhadap Biosorpsi ion Krom oleh biomassa *A. niger* van Tieghem

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa nilai yang paling tinggi rata-rata nilai serapan ion Cr terjadi pada pH 2. Tetapi bila berdasarkan waktu kontak saja nilai rata-rata serapan maupun persentase serapan ion Cr menonjol pada waktu kontak 1 jam karena pada waktu kontak tersebut penyerapan ion Cr pada semua rentang pH (2-5) terdapat pada nilai yang tertinggi apabila dibandingkan dengan waktu kontak lainnya (Tabel 1- 4).



Gambar 1. Grafik pengaruh pH terhadap serapan ion Cr/biomassa pada berbagai waktu kontak oleh *Aspergillus niger* van Tieghem: 40 mg biomassa/25 ml larutan 24,50 mg/L



Gambar 2. Grafik pengaruh waktu kontak terhadap serapan ion Cr /biomassa oleh *Aspergillus niger* van Tieghem pada setiap tingkat keasaman: 40 mg iomassa/25 ml larutan 24,50 mg/L

Pada Gambar 2. terlihat bahwa rata-rata serapan ion Cr/biomassa pada rentang pH 2 sampai 5 memiliki nilai yang beragam, tetapi pada setiap waktu kontak rata-rata serapan ion Cr/biomassa memiliki nilai yang hampir sama dalam rentang pH 2 sampai 5. Pada penelitian Kovacevic *et al.* (2000) didapatkan pula bahwa pH tidak berpengaruh secara signifikan terhadap adsorpsi  $\text{CrO}_4^{2-}$  oleh *Aspergillus niger* 405,

Perubahan pH larutan dapat mempengaruhi gugus fungsi penyusun sel biomassa tersebut, Harris dan Ramelow *dalam* Jasmidi (1998) memperkirakan bahwa muatan titik nol atau titik isoelektrik gugus fungsi protein penyusun dinding sel mikroorganisme terdapat pada pH 3, Apabila  $\text{pH} < 3$  situs aktif bermuatan bersih positif, sedang apabila  $\text{pH} > 3$  situs aktif bermuatan bersih negatif. Sehingga penyerapan Krom sebagai anion dan kation terdapat pada pH yang berbeda. Pada pH rendah Krom berupa anion sedangkan pada  $\text{pH} > 3$  Krom yang berupa kation yang terikat pada situs aktif.



Menurut penelitian Maquieira *et al. dalam* Jasmidi (1998) semakin rendah pH maka akan terjadi protonasi gugus basa lemah pada permukaan sel khamir sehingga terjadi penurunan jumlah serapan Seng dan Timbal, karena kemampuan untuk menyerap logam Seng dan Timbal semakin lemah.

### **Pengaruh waktu kontak terhadap serapan ion Krom oleh biomassa *A. niger* van Tieghem**

Nilai tertinggi serapan ion Krom untuk setiap pH terdapat pada waktu kontak 1 jam, sehingga 1 jam adalah waktu kontak yang dapat menyebabkan rata-rata serapan ion Krom dengan nilai yang terbesar. Hal tersebut diperjelas dengan Gambar 2.

Berdasarkan perhitungan statistika dengan ANAVA dua arah, waktu kontak berpengaruh secara signifikan terhadap serapan ion Krom oleh biomassa *A. niger* van Tieghem. Hasil ANAVA dua arah didukung dengan uji Tukey yang menyebutkan serapan ion Krom oleh biomassa *A. niger* van Tieghem berbeda secara signifikan ( $P \leq 0,05$ ) yang terjadi pada waktu kontak antara 1 jam dengan waktu kontak yang lain dan antara 2 dan 4 jam.

Serapan ion Cr/biomassa yang tertinggi terjadi pada waktu kontak 1 jam dan yang terendah terdapat pada waktu kontak 4 jam pada semua tingkat keasaman. Pada penelitian Kovacevic *et al.* (2000) *Aspergillus niger* 405 tidak menyerap kembali logam atau kesetimbangan terjadi pada waktu 5 jam. Penelitian ini memperlihatkan bahwa pada waktu lebih dari 1 jam serapan ion Cr/biomassa oleh *A. niger* van Tieghem telah menurun (Gambar 2), hal ini memperlihatkan biomassa *A. niger* van Tieghem telah jenuh oleh ion Krom dan akhirnya sedikit demi sedikit mulai melepaskan ion Krom kembali. Pelepasan ion kembali dimungkinkan karena adanya ikatan antara *chitin* dan ion Krom yang tidak stabil atau akibat kompetisi dengan ion lain terutama ion  $Cl^-$ .

Keadaan jenuh di atas disebabkan hampir seluruh pusat aktif dinding sel biomassa telah jenuh oleh logam Krom, sehingga dengan penambahan waktu kontak tidak akan meningkatkan penyerapan logam Krom bertambah. *A. niger* van Tieghem dapat secara baik mengikat ion Krom dengan waktu yang cukup cepat. Menurut Junior *et al.* (2003) ion Kadmium dapat terserap secara maksimum oleh

biomassa *Aspergillus niger* terjadi pada waktu kontak 5 menit. Fourest dan Roux (Puranik & Paknikar, 1997) menyebutkan bahwa lebih dari 90% Seng dan Nikel diserap oleh *Rhizopus arrhizus* dalam waktu 20 menit. Keadaan ini diduga karena ukuran sel biomassa yang relatif kecil menyebabkan permukaan bidang sentuh menjadi luas, sehingga kemungkinan terjadinya interaksi yang efektif antar ion logam dengan pusat aktif pada permukaan dinding sel biomassa semakin besar.

Proses penyerapan ion Krom yang tidak tergantung proses metabolisme terutama terjadi pada permukaan dinding sel diantaranya pembentukan ion atau molekul kompleks dan adsorpsi. Ion Krom berikatan pada sisi-sisi pengikatan di dinding sel biomassa, yaitu pada gugus fungsional seperti amina, karboksilat dan hidroksil (Gadd, 1992). Penyerapan ion Krom tersebut melibatkan ikatan ion dan kovalen. Kelompok amino dari *chitin* terbukti sebagai lokasi utama penyerapan Thorium oleh *Rhizopus arrhizus* (Tsezos dan Volesky, 1982), dalam penelitian ini diduga bahwa *chitin* yang berubah menjadi *chitosan* karena proses pengasaman diduga berperan dominan dalam penyerapan ion Krom..

### **Pengaruh interaksi antara pH dan waktu kontak terhadap serapan ion Krom oleh biomassa *A. niger* van Tieghem**

Berdasarkan perhitungan statistika dengan ANAVA dua arah tidak terdapat interaksi antara lamanya waktu kontak dengan pH larutan terhadap serapan ion logam Cr oleh Biomassa *A. niger* van Tieghem. Hal ini diperkirakan dapat terjadi karena pH dan waktu kontak mempengaruhi hal yang berbeda dan tidak saling berkaitan satu sama lain. Kedua faktor itu tidak saling berkaitan terlihat dari penyerapan yang tinggi terjadi pada waktu kontak 1 jam untuk semua pH.

Waktu kontak mempengaruhi penyerapan ion Krom dilihat dari aspek jenuhnya, saat kejenuhan telah terjadi penambahan waktu kontak tidak ada berarti. Aspek yang dipengaruhi oleh pH adalah titik isoelektrik gugus fungsi protein penyusun dinding sel mikroorganisme.

Serapan ion Cr/biomassa yang terbesar terdapat pada pH 5 dan waktu kontak 1 jam dengan nilai 12,21 mg/g, tetapi rata-rata serapan ion Cr/biomassa pada seluruh waktu kontak yang memiliki nilai tertinggi terdapat pada pH 2. Menurut perhitungan ANAVA dua arah tingkat keasaman tidak

berpengaruh secara signifikan terhadap banyaknya logam Krom yang terserap oleh biomassa *Aspergillus niger* van Tieghem, hal ini menyebabkan pH pada rentang 2 sampai 5 akan baik digunakan dalam proses biosorpsi.

### **Perbandingan kadar logam Krom awal dan kakhir setelah diserap oleh biomassa *A. niger* van Tieghem**

Kadar logam Krom diharapkan dapat berkurang sehingga berada dibawah ambang baku mutu lingkungan yaitu  $< 5$  mg/L. Hasil analisis akhir logam Krom dari limbah pertambangan Nikel setelah diserap oleh biomassa *A. niger* van Tieghem menunjukkan adanya kadar logam yang cukup rendah (mendekati 5 mg/L), bahkan ada yang berada dibawah ambang batas baku mutu lingkungan.

Hasil penelitian ini menunjukkan kadar logam Krom akhir setelah melalui proses biosorpsi umumnya mendekati ambang batas baku mutu lingkungan, yaitu antara 4,96-7,72 mg/L (Tabel 1-4). terdapat pada waktu kontak satu jam pada kondisi berbagai macam tingkat keasaman.

Hasil uji statistika dengan uji Z-Score didapatkan bahwa terdapat beberapa kadar logam yang berada di bawah ambang batas baku mutu lingkungan dan terdapat pula yang berada di atas ambang baku mutu lingkungan. Kondisi yang mendukung kadar akhir logam Krom untuk berada di bawah batas standar baku mutu menurut uji Z-score adalah saat pH 2, 3, 4, 5 dengan waktu kontak 1 jam, pada pH 2 dan 3 pada waktu kontak 2 jam dan sisanya berada di atas standar baku mutu.

Rata-rata kadar logam Krom akhir yang paling rendah (4,96 mg/L) terdapat pada larutan limbah yang memiliki pH 5 dengan waktu kontak satu jam, sedangkan rata-rata kadar logam Krom akhir yang paling tinggi (7,72 mg/L) terdapat pada larutan limbah yang memiliki pH 5 dengan waktu kontak 4 jam. Secara umum terlihat bahwa pada setiap kenaikan waktu kontak terjadi peningkatan rata-rata kadar Krom akhir.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penyerapan Krom terbesar (79,77 %) terjadi saat kondisi pH 5 dan waktu kontak 1 jam. Sedangkan tingkat keasaman pada penelitian ini (pH 2-5) terbukti tidak berpengaruh secara signifikan terhadap banyaknya ion Krom yang terserap oleh biomassa *A. niger* van Tieghem. Sementara itu waktu kontak berpengaruh secara signifikan terhadap serapan ion Krom oleh biomassa *Aspergillus niger* van Tieghem. Semakin lama waktu kontak dalam rentang 1 sampai 4 jam, rata-rata serapan ion Krom oleh biomassa *A. niger* van Tieghem semakin menurun.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami haturkan banyak terima kasih kepada Dra. Siti Rafiah Untung, M.Env.st., Herni Khaerunnisa, ST, dan Ibu Nia Rosnia dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara Bandung, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral Jl. Jenderal Sudirman No. 623 Bandung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahalya, Ramachandra and Kanamadi. 2003. **Biosorption of Heavy Metals**. <http://144.16.93.2.3/energy/water/paper/biosorption/biosorption.htm>.
- Anonim. 2002. **Chromium and compounds**. <http://www.weblakes.com/lakecont.html>.
- Darnall, D. W., B. Greene, M. T. Henzl, J. M. Hosea, R. A. Mcpherson, J. Sneddon, and M. D. Alexander. 1986. Selective Recovery of Gold and Other Metal Ions from an Algal Biomass. *Environ. Sci. Technol* 20 (206-208).
- Gadd, G.M. 1992. Heavy Metal Pollutans: Environmental and Biotechnological Aspects. *Encyclopedia of Microbiology. Vol. 2*. Academic Press. England.
- Hiu N., B. Volesky, and C.M.G. Newton., 2000. **Enhancement of Gold-Cyanide Biosorption by L. cystein**. <http://www.chromium-asoc.com/publications/crfile8feb02.htm>.
- Jasmidi.1998. Pengaruh pH Awal Larutan Terhadap Biosorpsi Timbal dan Seng oleh Biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. *Prosiding Seminar Nasional Kimia III (178-186)*. Jurusan Kimia UGM. Yogyakarta.
- Júnior, B.; G. R. Macedo; L. Duarte; E. P. Silva; Lobato. 2003. . **Biosorption of Cadmium Using the Fungus *Aspergillus niger***. Online [http://www.scielo.br/scielo.php/ing\\_en](http://www.scielo.br/scielo.php/ing_en).
- Kovacevic, S. and Briski .2000. **Biosorption of Chromium, Copper, Nickel and Zinc Ions onto Fungal Pellets of *Aspergillus niger* 405**. <http://www.jagor.srce.hr/ftbrfd/c0003.html>.

- Marganof. 2003. Potensi Limbah Udang Sebagai Penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium dan Tembaga) di Perairan. *Pengantar Falssafah Sains (PPS 702)*. Program Pasca Sarjana IPB.
- Priyanto, B. dan Prayitno, J. 2002. **Fitoremediasi sebagai sebuah Teknologi Pemuliham Pencemaran. Khususnya Logam Berat.**  
[http://r.hotbot.com/r/trmempage\\_buldablog/http://blog.tripal.lycos.com/](http://r.hotbot.com/r/trmempage_buldablog/http://blog.tripal.lycos.com/).
- Puranik dan Paknikar. 1997. Biosorption of Lead and Zinc from Solutions using *Streptoverticillium cinnamoneum* waste biomass. *Journal of Biotechnology* 55 (113-124). Elseiver Science Publisher B.V. Amsterdam.
- Suhendrayatna. 2001. **Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan.** Tersedia: <http://sinergi-forumnet/forum>.
- Tsezos, M. and Volesky, B. 1982. The Mechanism of Thorium Biosorption by *Rhizopus arrhizus*. *Biotechnol. Bioeng.* 24: 955-969.
- Volesky, B., 1999. **Biosorption For The Next Century.**  
<http://www.biosorption.mcgill.ca/biosorption.htm>.
- Volesky, B., 2004. **What is Biosorption.** <http://www.biosorption.mcgill.ca/whatis.htm>.
- Wood, B., 2002. **Toxicity Characteristics Leaching Procedure for Extraction by SW-846 Method 1311.** TCLP SOP Revision 4.
- Yaday, S. O. P. Shukla and U. N. Rai, 2005. **Chromium Pollution and Bioremediation. Vol. 11 No. 1 – January.2005.** <http://www.geocities.com/isebindia/index.html>.
- Hancock, I. C. (1996c). 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.