

KINETIKA ADSORPSI LOGAM Zn MENGGUNAKAN BIOMASSA *Pseudomonas*

(Zinc Adsorption Kinetics Using *Pseudomonas* as Biomass)

Hidayati dan Yoyon Suyono

Baristand Industri Pontianak, Jl. Budi Utomo No. 41, Pontianak, Indonesia

e-mail: hidayati@kemenperin.go.id

Naskah diterima 1 Juli 2013, revisi akhir 29 Agustus 2013 dan disetujui untuk diterbitkan 30 September 2013

ABSTRAK. Kinetika adsorpsi logam Zn menggunakan biomassa dari genus *Pseudomonas* (campuran bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Pseudomonas* sp.) dilakukan untuk mengetahui kemampuan biomassa dalam mengadsorpsi logam Zn, mendapatkan data kesetimbangan, serta kinetika biosorpsi logam Zn. Proses adsorpsi pada penelitian ini dilakukan secara batch dengan variabel berupa jumlah biomassa (0,01 g, 0,02 g, 0,03 g, 0,04 g dan 0,05 g), waktu adsorpsi (30, 60 dan 120 menit) dan pH (4 dan 6). Kinetika biosorpsi logam Zn mengikuti persamaan orde dua semu, karena persamaan tersebut mempunyai nilai koefisien korelasi (R^2) rata-rata mendekati 1 baik untuk pH 4 maupun pH 6. Nilai koefisien korelasi tertinggi diperoleh pada kondisi jumlah biomassa 0,04 g baik untuk pH 4 maupun pH 6 yaitu 0,999. Model kesetimbangan adsorpsi logam Zn terbaik diperoleh pada kondisi pH 4 dan waktu kontak 60 menit. Model kesetimbangan adsorpsi logam berat ini mengikuti isothermal Freundlich dengan nilai koefisien korelasi (R^2) adalah 0,973.

Kata kunci: kinetika adsorpsi, koefisien korelasi, logam Zn, *Pseudomonas*

ABSTRACT. Zinc adsorption kinetics using *Pseudomonas aeruginosa* and *Pseudomonas* sp. was conducted to determine the ability of biomass to adsorb Zinc, and also to get the biosorption equilibrium and kinetics. Adsorption process conducted in this study was using batch method with variables on the amount of biomass (0.01 g, 0.02 g, 0.03 g, 0.04 g and 0.05 g), adsorption time (30, 60 and 120 min) and pH (4 and 6). Zinc metal biosorption kinetics following the pseudo-second-order equation. The highest correlation coefficient obtained on the condition of 0.04 g biomass for both pH 4 and pH 6 was 0.999. The best Zinc metal adsorption equilibrium models obtained at pH 4 with contact time at 60 minutes. This heavy metal adsorption equilibrium models comply the Freundlich isothermal with a correlation coefficient (R^2) of 0.973.

Keywords: adsorption kinetics, correlation coefficient, *Pseudomonas*, Zinc

1. PENDAHULUAN

Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 , antara lain Cd, Hg, Pb, Zn dan Ni. Logam berat Cd, Hg dan Pb dinamakan sebagai logam non esensial dan pada tingkat tertentu menjadi logam beracun bagi makhluk hidup (Subowo, dkk., 1999).

Salah satu logam berat yang berbahaya hasil kegiatan industri adalah logam Zn (seng). Logam Zn adalah unsur hara mikro esensial bagi manusia, hewan dan tumbuhan tingkat tinggi. Zn sering

digunakan dalam pelapisan logam seperti baja dan besi yang merupakan produk antikorosi, pembuatan zat warna untuk cat, lampu, gelas, bahan keramik, pestisida dan sebagainya (Darmono, 1995). Kelebihan logam Zn dalam tubuh manusia akan mengakibatkan timbulnya rasa nyeri pada dada, pneumonitis dan paru-paru (Levander dan Cheng, 1980 dalam Sule, 1994). Pengaruh yang ditimbulkan logam ini dapat bersifat permanen (Setyaningrum, 2011).

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan

Hidup, Kep-51/MENKLH/10/1995 tentang Baku Mutu limbah cair bagi kegiatan industri untuk logam Zn adalah 5 mg/L untuk Golongan I dan 10 mg/L untuk golongan II (MENKLH, 1995).

Saat ini, pengolahan limbah secara biologis (biosorpsi) untuk mengurangi ion logam berat dari air tercemar muncul sebagai teknologi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan dibandingkan dengan proses pengolahan air limbah secara fisika-kimia. Proses fisika-kimia yang sering dilakukan adalah dengan melakukan penambahan zat-zat kimia tertentu untuk pemisahan ion logam berat, *electrodialysis* dan *reverse osmosis* (Suhendrayatna, 2001). Proses-proses tersebut dianggap kurang memadai karena selain biaya yang besar, proses ini juga menghasilkan limbah sekunder yang dapat membahayakan lingkungan dengan masa aktif yang lebih panjang. Biosorpsi menunjukkan kemampuan biomassa untuk mengikat logam berat dari dalam larutan melalui langkah-langkah metabolisme atau kimia-fisika. Keuntungan penggunaan proses biosorpsi diantaranya adalah biaya yang relatif murah, efisiensi tinggi pada larutan encer, minimalisasi pembentukan lumpur, serta kemudahan proses regenerasinya (Ashraf, 2010). Proses biosorpsi berlangsung cepat dan terjadi sama baiknya antara mikroorganisme hidup dan mati (Suhendrayatna, 2001). Faktor-faktor yang mempengaruhi proses biosorpsi antara lain pH, waktu dan Temperatur (Soeprijanto dkk., 2004).

Penggunaan adsorben biomassa dari sel mati dari mikroorganisme telah banyak digunakan. Salah satu biomassa yang digunakan adalah bakteri genus *Pseudomonas*. *Pseudomonas* merupakan bakteri gram negatif yang dinding selnya sebagian besar terdiri dari gugus karboksilat, hidroksida, fosfat dan amina yang dapat mengadsorpsi ion Zn^{2+} (Vijayaraghavan and Yun, 2008). Penggunaan biomassa sel mati *Pseudomonas aeruginosa* sebagai adsorben telah diteliti oleh Shetty dan Rajkumar (2009), hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa *Pseudomonas aeruginosa* merupakan adsorben yang baik

untuk mengadsorpsi ion Cu^{2+} dengan adsorptifitas yang tinggi.

Kinetika adsorpsi menyatakan tingkat kecepatan penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat. Studi tentang kinetika adsorpsi logam berat sudah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Soeprijanto dkk. (2007) telah mempelajari kinetika biosorpsi ion logam berat Cu(II) dalam larutan menggunakan biomassa *Phanerochaete chrysosporium*. Kinetika adsorpsi logam berat Cr(VI) dengan adsorben pasir yang dilapisi besi oksida telah dipelajari oleh YC. Danarto (2007), sedangkan Husni dkk. (2007) telah melakukan studi kinetika adsorpsi logam timbal (Pb) menggunakan karbon aktif dari batang pisang. Kinetika Adsorpsi ion logam Cu(II) menggunakan serbuk gergaji teraktivasi dengan asam asetat telah dipelajari oleh Drastinawati dkk. (2011). Pada penelitian ini akan dipelajari kinetika adsorpsi logam Zn menggunakan biomassa campuran bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Pseudomonas sp.*

Hasil Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dibidang lingkungan khususnya teknologi pengolahan limbah cair.

2. METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan adalah isolat campuran bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Pseudomonas sp.*, Na-Alginat, NaCl, $CaCl_2$ dan bahan-bahan untuk pengujian logam Zn. Peralatan yang digunakan meliputi timbangan analitik, timbangan *top loading*, cawan petri, jarum ose, pipet tetes, pipet ukur, labu ukur, gelas kimia, erlenmeyer, oven, *hot plate stirrer*, pinset, pH meter, termometer, *atomic absorption spectroscopy* (AAS) dan sentrifus.

Rancangan penelitian menggunakan faktor berupa jumlah biosorben dengan variasi berat 0,01 g, 0,02 g, 0,03 g, 0,04 g, dan 0,05 g. pH proses biosorpsi dengan variasi 4 dan 6. waktu kontak proses biosorpsi selama 30, 60 dan 120 menit.

Pembuatan Sel Kering (*Dry Cell*)

Data Bakteri genus *Pseudomonas* yang resisten logam berat ditumbuhkan dalam *Casamino Acid Media* (CAA) pada suhu 25-35°C selama 24-28 jam pada *rotary shaker* 200 rpm. Biomassa dipisahkan dari medium menggunakan *centrifuge* 8000 rpm selama 15 menit. *Suspended* yang dihasilkan dikeringkan pada suhu 70°C selama 120 menit sehingga diperoleh sel kering (*dry cell*).

Pembuatan Biosorben

Sel kering dihaluskan dan ditimbang dengan berat 0,01 g, 0,02 g, 0,03 g, 0,04 g dan 0,05 g. Selanjutnya masing-masing dicampurkan ke dalam 10 ml larutan Na-Alginat 2% dan diaduk menggunakan vortex. Campuran tersebut diteteskan ke dalam larutan CaCl₂ hingga terbentuk butiran (*beads*) dan didiamkan selama 1 (satu) malam. Biosorben dalam bentuk butiran disaring menggunakan kertas saring dan dibilas dengan larutan NaCl 1% sebanyak 3 kali dan terakhir dengan akuades.

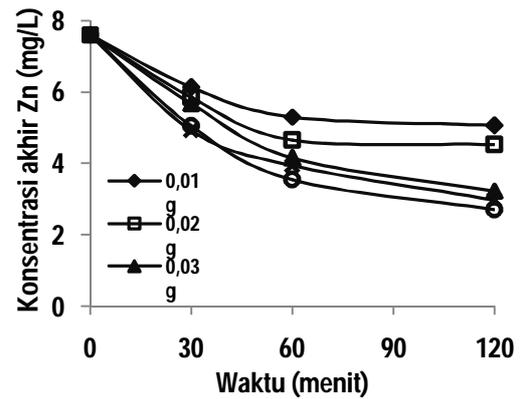
Biosorpsi Logam Zn

Biosorben dengan variasi berat 0,01 g, 0,02 g, 0,03 g, 0,04 g dan 0,05 g dicampurkan dalam larutan 100 ml limbah sintetik yang mengandung logam Zn dengan konsentrasi ±7-10 mg/L dan pengadukan 700 rpm. pH masing-masing diatur 4 dan 6 pada suhu kamar. Waktu kontak masing-masing proses adalah 30, 60 dan 120 menit. Setelah kontak, larutan yang mengandung biosorben disaring. Bagian filtratnya dilakukan pengujian menggunakan AAS untuk mengetahui logam berat yang diserap (Sesuai SNI 06-6989.7-2004).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Waktu Biosorpsi Terhadap Konsentrasi Logam Zn

Pengaruh waktu biosorpsi terhadap konsentrasi Zn dengan jumlah biomassa yang bervariasi yaitu 0,01 g, 0,02 g, 0,03 g, 0,04 g dan 0,05 g dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara waktu biosorpsi dengan konsentrasi akhir logam Zn

Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin lama waktu biosorpsi dan semakin banyak jumlah biomassa yang digunakan maka konsentrasi akhir logam Zn yang diperoleh semakin kecil. Menurut Tebo (1995) dalam Saefudin (2000), proses biosorpsi terjadi sebagai konsekuensi dari interaksi antara situs yang bermuatan negatif pada permukaan dinding sel mikroorganisme dan komponen ekopolimer lainnya dengan ion logam yang bermuatan positif atau melalui reaksi antara agen pengompleks ekstraseluler dengan ion logam sehingga terjadi penyerapan terhadap ion logam. Konsentrasi akhir logam Zn yang kecil diperoleh sebesar 2,7138 mg/L pada kondisi pH 4, waktu kontak 120 menit dan jumlah biomassa 0,05 g.

Kinetika Biosorpsi Logam Zn

Kinetika biosorpsi dapat dipelajari dengan persamaan orde satu semu dan orde dua semu.

1. Model kinetika orde satu semu

Model kinetika orde satu semu yang dikemukakan oleh Lagergren (1989) secara umum dinyatakan dengan Persamaan (1).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

dengan q_e dan q_t berturut-turut merupakan jumlah ion logam yang diadsorpsi (mg adsorbat/g adsorban) pada kesetimbangan

dan pada waktu t (min) tertentu, k_1 merupakan tetapan laju orde satu semu (min^{-1}). Setelah dilakukan integrasi dengan kondisi batas ($t=0, q_t=0$, dan $t=t, q_t=q_t$) maka persamaan (1) menjadi Persamaan (2).

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t \quad (2)$$

Persamaan (2) merupakan laju orde satu semu. Nilai-nilai tetapan laju (k_1), jumlah ion yang diadsorpsi pada keadaan setimbang (q_e), koefisien korelasi (R^2), diperoleh dari plot $\ln(q_e - q_t)$ vs t .

2. Model kinetika orde dua semu

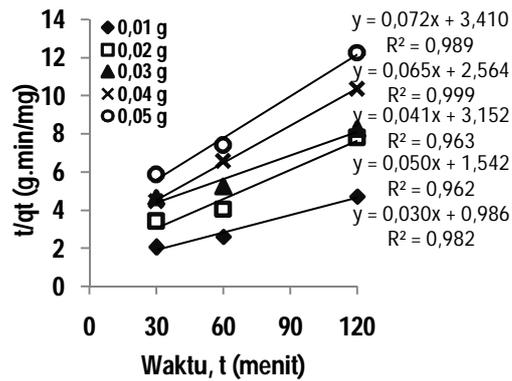
Model kinetika orde dua semu dikemukakan oleh Ho dkk. (2000), yang dinyatakan dengan Persamaan (3).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

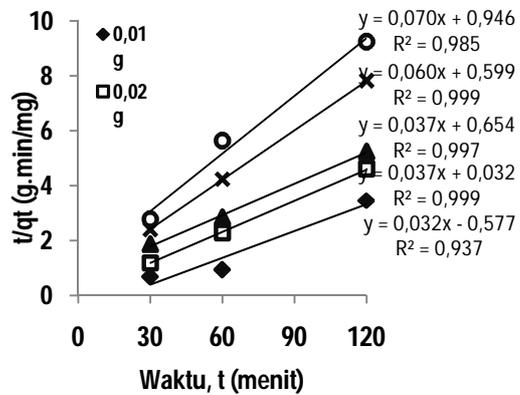
Setelah dilakukan integrasi dengan kondisi batas ($t=0, q_t=0$, dan $t=t, q_t=q_t$) maka Persamaan (3) menjadi Persamaan (4).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (4)$$

Jika dilakukan plot (t/q_t) vs t , maka akan diperoleh nilai k_2 dan q_e . k_2 adalah tetapan laju orde dua semu ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$). Untuk mengetahui model kinetika biosorpsi logam Zn, persamaan orde satu semu (Persamaan 2) dan orde dua semu (Persamaan 4) digunakan. Model kinetika biosorpsi logam Zn berdasarkan data eksperimen dan persamaan model matematika mengikuti persamaan reaksi orde dua semu, karena persamaan-persamaan tersebut mempunyai nilai koefisien korelasi (R^2) rata-rata mendekati 1 baik untuk pH 4 maupun pH 6, seperti terlihat pada Gambar 2 dan 3. Hal ini menunjukkan adanya korelasi antara data eksperimen dengan persamaan model matematika. Nilai koefisien korelasi tertinggi diperoleh pada kondisi jumlah biomassa 0,04 g baik untuk pH 4 maupun pH 6 yaitu 0,999.



Gambar 2. Kinetika orde dua semu untuk biosorpsi logam Zn pada pH 4



Gambar 3. Kinetika orde dua semu untuk biosorpsi logam Zn pada pH 6

Konstanta (k_2) kecepatan adsorpsi ion logam (Zn) berdasarkan model kinetika orde dua semu dan nilai q_e (jumlah ion logam yang teradsorpsi) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Konstanta (k_2) dan q_e

pH	Jumlah Biosorben (g)	k_2 (g/mg.min)	q_e mg/g
4	0,01	0,0009	33,333
	0,02	0,0016	20,000
	0,03	0,0005	24,390
	0,04	0,0016	15,385
	0,05	0,0015	13,889
6	0,01	0,0018	31,250
	0,02	0,0428	27,027
	0,03	0,0021	27,027
	0,04	0,0060	16,667
	0,05	0,0052	14,286

Model Kesetimbangan Adsorpsi Logam Zn

Model Adsorpsi yang sering digunakan untuk menentukan kesetimbangan adsorpsi adalah isothermal Langmuir dan Freundlich (Baral dkk., 2007). Persamaan (5) berikut merupakan persamaan isothermal Langmuir.

$$q_e = \frac{q_{max} \cdot b C_e}{1 + b C_e} \quad (5)$$

dengan q_{max} merupakan kapasitas adsorpsi maksimum yang berhubungan dengan cakupan adsorpsi monolayer menyeluruh (mg adsorbat/g adsorban) dan b merupakan konstanta Langmuir yang berhubungan dengan energi adsorpsi (L adsorban/mg adsorbat). Persamaan (5) dapat dilinearkan menjadi:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1 + b C_e}{q_{max} \cdot b C_e} \quad (6)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} \cdot b} + \frac{1}{q_{max}} C_e \quad (7)$$

$$Y = a + bX \quad (8)$$

Freundlich menyusun isotherm adsorpsi dengan mengasumsikan bahwa permukaan adsorban adalah heterogen dan model ini sesuai digunakan untuk larutan encer dan campuran (Kouyumdjiev dalam Bastian, 2002). Persamaan Freundlich yang digunakan:

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad (9)$$

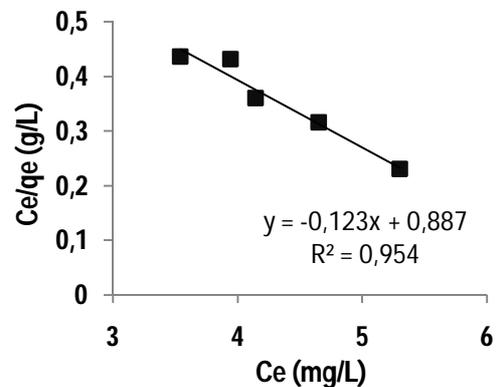
dengan k_f merupakan konstanta Freundlich yang berhubungan dengan energi adsorpsi (L adsorban/mg adsorbat) dan n merupakan konstanta empiris. Linearisasi Persamaan (9) adalah:

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (10)$$

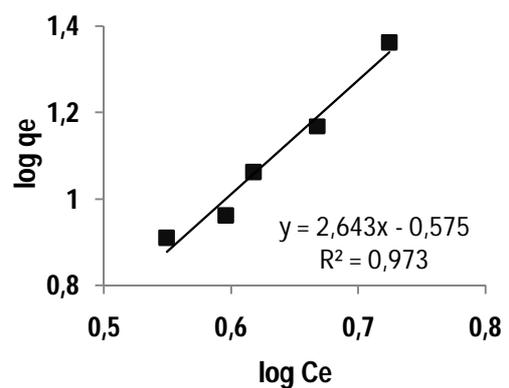
Berdasarkan perhitungan model kesetimbangan adsorpsi menggunakan persamaan isothermal Langmuir (Persamaan 7) dan Freundlich (Persamaan 10) maka hasil terbaik biosorpsi diperoleh

pada kondisi temperatur ruang, pH 4, waktu kontak (t) 60 menit, pengadukan 800 rpm, volume larutan logam Zn (V) 0,1 L dan konsentrasi awal logam Zn (C_0) 7,6071 mg/L.

Korelasi antara data eksperimen dengan persamaan model matematika untuk persamaan isothermal Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Koefisien korelasi (R^2) isothermal Freundlich lebih besar dibandingkan isothermal Langmuir yaitu 0,973. Hal ini menunjukkan bahwa adanya korelasi yang baik antara data eksperimen dengan persamaan model matematika untuk isothermal Freundlich.



Gambar 4. Model kesetimbangan adsorpsi isothermal Langmuir



Gambar 5. Model kesetimbangan adsorpsi isothermal Freundlich

Berdasarkan plot C_e/q_e versus C_e pada Gambar 4 maka diperoleh nilai $q_{max} = 8,13$ mg/g dan nilai $b = 0,139$ L/mg untuk

persamaan isothermal Langmuir. Sedangkan plot $\log q_e$ versus $\log C_e$ pada Gambar 5 maka diperoleh nilai $k_f = 0,266$ L/mg dan nilai $n = 0,378$ untuk persamaan Freundlich.

4. KESIMPULAN

Biomassa campuran bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Pseudomonas sp.* mampu menyerap logam Zn (dalam bentuk ion Zn^{2+}) pada limbah sintetik yang mengandung logam Zn dipengaruhi oleh lamanya waktu kontak dan jumlah biomassa yang ditambahkan. Konsentrasi akhir logam Zn yang kecil diperoleh sebesar 2,7138 mg/L pada kondisi pH 4, waktu kontak 120 menit dan jumlah biomassa yang ditambahkan 0,05 g.

Kinetika biosorpsi logam Zn mengikuti persamaan reaksi orde dua semu, karena persamaan tersebut mempunyai nilai koefisien korelasi (R^2) mendekati 1 yaitu 0,999. Model kesetimbangan adsorpsi logam Zn terbaik diperoleh pada kondisi temperatur ruang, pH 4 dan waktu kontak 60 menit. Model kesetimbangan adsorpsi logam Zn ini mengikuti isothermal Freundlich dengan nilai koefisien korelasi (R^2) adalah 0,973

DAFTAR PUSTAKA

- Ashraf, M.A., Maah, M.J. & Yusoff, I. (2010). Study of Banana Peel (*Musa Sapientum*) as A Cationic Biosorben. *American-Eurasian J. Agric & Environ Sci*, 8(1), 7-17.
- Baral, S.S., Das, S.N. & Rath, P. (2007). Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution Using Waste Weed *Salvinia cucullata*. *Chem. Ecol*, 23, 105-117.
- Bastian, A. (2002). *Adsorpsi Merkuri Menggunakan Serbuk Gergaji*. Disertasi Doctoral Degree. ITB. Bandung.
- Danarto, YC. (2007). *Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cr(VI) Dengan Adsorben Pasir Yang Dilapisi Besi Oksida*. *Ekuilibrium*. 6(2), 65-77.
- Darmono. (1995). *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: UI-Press.
- Drastinawati, Fajri A. & E.Y. Fitri. (2011). Kinetika Adsorpsi Ion Logam Cu(II) Menggunakan Serbuk Gergaji Teraktivasi dengan Asam Asetat. *Prosiding SNTK TOPI 2011* (pp. 45-49). Riau: Universitas Riau.
- Husni, H. & Rosnelly, C.M. (2007). Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal (Pb) Menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang. *Jurnal Hasil Penelitian Industri*, 20(1), 1-10.
- Ho, Y.S., Mc Kay, G., Wase, D.A.J. & Foster, C.F. (2000). Study of the Sorption of Divalent Metal Ions on to Peat. *Adsorp. Sci. Technol*, 18, 639-650.
- Igwe, J.C. & Abia, A.A. (2006). A Bioseparation Process for Removing Heavy Metals from Waste Water Using Biosorbents, *African Journal of Biotechnology*, 5(12), 1167-1179.
- Kurniasari, L., Riwayati I. & Suwardiyono. (2012). Pektin Sebagai Alternatif Bahan Baku Biosorben Logam Berat. *Momentum*, 8(1), 1-5.
- Lagergren, S. (1989). Zur Theorie der Sogenannten Adsorption Geloster Stoffe. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens. Handlingar*, 24, 1-39.
- Peraturan: Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum KLH RI*. (1995, 10 23). Dipetik Februari 1, 2013, dari Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Web site: <http://jdih.menlh.go.id/>
- Prihartanto. (1997). Pengolahan Air Buangan Industri Pelapisan Logam. *Alami*, 2(2), 1-8.
- Saefudin, Trisna, & Kusnadi. (2000). *Pengaruh pH dan Waktu Kontak terhadap Biosorpsi Logam Zn oleh Biomassa Aspergillus niger Van Treghem pada Larutan Limbah Pertambangan Nikel*. Bandung: UPI Press.
- Setyaningrum, A. (2011). *Evaluasi Tingkat Kontaminasi Cu, Zn, Pb dan Cd Pada Lahan Sawah di Kota Tangerang Provinsi Banten*. Thesis. Program Pascasarjana. IPB, Bogor.
- Shetty R. dan Rajkumar S.H. (2009). Biosorption of Cu(II) by Metal Resistant *Pseudomonas sp.* *International Journal of Environmental Research*, 3(1), 121-128.

- Soeprijanto, Elsony, A. & Sulistyowati E. (2004). Kinetika Biosorpsi Ion Logam Berat Cu(II) Menggunakan Biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2004*, Yogyakarta: UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Soeprijanto, Bambang Aryanto & Ryan Fabella. (2007). Kinetika Biosorpsi Ion Logam Berat Cu(II) dalam Larutan Menggunakan Biomassa *Phanerochaete chrysosporium*. *Jurnal Imiah Sains dan Teknologi*, (6)1, 61-67.
- Subowo, Kurniansyah A.M., & Sukristiyonubowo. (1999). Pengaruh Logam Berat Pb dalam Tanah Terhadap Kandungan Pb, Pertumbuhan dan Hasil Tanam Caisem (*Brassica rapa*). *Prosiding Seminar Sumber Daya Tanah, Iklim dan Pupuk*, Bogor: Puslittanak.
- Suhendrayatna. (2001). Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan. *Seminar on-Air: Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21*, Jepang: Synergy Forum-PPI Tokyo Institut of Technology.
- Sule, L.H. (1994). *Dampak Pemanfaatan Lahan di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Logam Berat Berbagai Tanaman Sayuran*. Bogor: Program Pascasarjana IPB.
- Vijayaraghavan, K. & Yun, Y.S. (2008). Bacterial Biosorbents and Biosorption, *Biotechnology Advances*, 26, 266-291.

