

Biosorpsi Kadmium pada Leachate TPA Gunung Tugel Menggunakan Biomassa *Sargassum cinereum*

Slamet Santoso S.P., Sri Lestari, dan Dwi Sunu Windyartini

Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman

Abstract

Leachate is liquid originated from organic waste. The substance consists of dissolved and suspended materials as a result of decomposition process by microorganisms. *Leachate* is waste consist of organic and high heavy metal. To manage *leachate*, heavy metal should be reduced by biosorption. Biosorption is heavy metal adsorption by inactive or death organism. The aims of the research were to examine the contact time, *Sargassum cinereum* biomass, combination of contact time and *S. cinereum* biomass to adsorb cadmium from the *leachate*. The experiments were based on Completely Randomized Design (CRD) with Split Plot Design. The treatments included contact time of *Sargassum cinereum* with *leachate* as main plot and *S. cinereum* biomass as sub plot. Contact time of *S. cinereum* with *leachate* consisted of three levels i.e., 1, 2 and 3 hours while *S. cinereum* biomass consisted of four levels, i.e., 200, 300, 400 and 500 mg. Data obtained were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and followed by High Significant Difference (HSD) test. The results showed that *S. cinereum* biomass can adsorb cadmium from *leachate*. The level of adsorption of heavy metal was different in each treatment depending on contact time and *S. cinereum* biomass. The contact time of 3 hours was the optimum length in adsorbing cadmium (39.168%) and 400 mg *S. cinereum* biomass was optimum amount in adsorbing cadmium (38.936%). Combination of contact time 3 hours and 400 mg *S. cinereum* biomass was optimum treatment in adsorbing cadmium (42.289%) from the *leachate*.

Key words: *Biosorption, Cadmium, Leachate, S. cinereum, Banyumas*

Pendahuluan

Kabupaten Banyumas memiliki empat buah TPA. Salah satunya adalah TPA Gunung Tugel yang berlokasi di Desa Kedungrandu, Kecamatan Patikraja, Kabupaten Banyumas. Sumber sampah terbesar di TPA Gunung Tugel adalah permukiman disusul oleh pasar, pertokoan dan industri. Menurut Cahyono *et al.* (1999), TPA Gunung Tugel menghasilkan sampah 260 m³/hari dengan komposisi tertinggi berupa bahan organik yaitu 61,91%.

Berdasarkan observasi pendahuluan yang telah dilakukan, 40% sampah di TPA Gunung Tugel diolah menjadi kompos, sedangkan sisanya dibiarkan teronggok. Bahan organik pada sampah teronggok akan mengalami dekomposisi yang bersama air hujan menghasilkan *leachate* (air lindi). *Leachate* adalah cairan yang mengandung zat terlarut dan tersuspensi yang sangat halus sebagai hasil penguraian oleh mikroba (Soemirat, 1999). Menurut Fachrudin (1989), *leachate* dicirikan oleh parameter fisik dan kimiawi berkadar tinggi, serta mengandung logam berat berbahaya salah satunya adalah kadmium (Cd).

Sumber Cd di TPA Gunung Tugel adalah sampah berupa plastik bekas, residu cat dan baterai. Logam berat Cd biasanya terikat oleh senyawa-senyawa lain membentuk suatu molekul. Ikatan tersebut berupa bahan anorganik yaitu klorida dan karbonat. Palar (1994) menyatakan bahwa logam Cd memiliki kemampuan untuk mengikat gugus S dan karboksi (-COOH) dari molekul-molekul protein, asam amino, dan menggantikan keberadaan logam-logam lain yang terdapat dalam protein seperti logam Cu yang pada kondisi normal berfungsi dalam pembentukan ikatan kovalen koordinasi antarmolekul protein. Paparan akut oleh Cd dapat menyebabkan gejala mual, muntah, diare, kram, otot, anemia, dermatitis, pertumbuhan lambat, kerusakan ginjal dan hati, gangguan kardiovaskuler, emipisema dan degenerasi testicular (Sudarmaji *et al.*, 2006).

Sistem pengelolaan *leachate* di TPA Gunung Tugel kurang optimal. Debit *leachate* yang tertampung dalam bak-bak pengolahan adalah 0,8988 m³/hari (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Banyumas, 2006), sedangkan sebagian besar merembes ke tanah. Menurut Keman (2003), *leachate* yang dibiarkan tanpa diolah akan mencemari air tanah di sekitarnya. Jenis tanah di TPA Gunung Tugel adalah ultisol, sehingga memungkinkan *leachate* dapat merembes dan mencemari air tanah penduduk di sekitarnya.

Logam Cd yang terdapat di dalam limbah dapat dipisahkan secara biologis menggunakan makroalga (rumpun laut) melalui proses biosorpsi baik pada skala laboratorium maupun lapangan. Proses biosorpsi merupakan pengikatan logam melalui adsorpsi dengan menggunakan organisme yang inaktif atau mati. Biosorpsi adalah proses penyerapan dengan menggunakan biomassa (Prasetyo, 1994). Viera *et al.*, (2000) menyatakan bahwa proses biosorpsi logam dapat dilakukan secara efisien dan ekonomis, maka pengolahannya harus memenuhi kriteria antara lain biomassa yang digunakan murah, penyediaannya tidak memerlukan biaya tinggi, mempunyai kapasitas untuk mengakumulasi secara cepat dan efisien serta pengolahannya ditujukan pada satu jenis logam saja. Gadd (1990) menambahkan bahwa biosorpsi sangat baik untuk mengadsorpsi logam berat yang terkandung dalam limbah karena berlangsung relatif cepat, tingkat penyerapannya tinggi dan selektif. Salah satu spesies makroalga yang telah dianggap mempunyai kemampuan cukup tinggi untuk mengadsorpsi ion-ion logam, baik dalam keadaan hidup maupun dalam bentuk sel mati (biomassa) adalah *Sargassum cinerium*. *S. cinerium* memiliki struktur dinding sel berupa getah selaput (masilag) yang mengandung algin. Menurut Indriani *et al.* (1999), algin merupakan polimer murni dari asam uronat yang tersusun dalam bentuk rantai linier panjang. Aglinat pada dinding sel alga cokelat merupakan komponen utama yang bertanggung jawab dalam pengikatan ion. Aglinat terdapat dalam bentuk gel, berpori dan bersifat permeabel. Menurut Sahmoune *et al.*, (2008), unsur-unsur yang mengandung alginat merupakan penukar ion logam berat yang sangat efisien. Viera *et al.*, (2000) menyatakan bahwa alginat merupakan situs aktif pengikat logam berat karena bermuatan negatif, sedangkan krom bermuatan positif, sehingga terjadi ikatan ion. Volesky *et al.* (1995) mengemukakan bahwa semua jenis rumput laut baik *Chlorophyta*, *Rhodophyta* maupun *Phaeophyta* merupakan biosorben yang sangat baik untuk logam berat karena memiliki situs aktif pengikat ion logam berat berupa senyawa polisakarida yang tersusun atas alginat kalsium dan sodium.

Lestari *et al.* (2008) dalam penelitiannya menyatakan bahwa *Sargassum* sp. mampu menyerap krom heksavalen secara maksimum pada biomassa sebanyak 300 mg. Sharma *et al.* (1994) di dalam penelitiannya mengemukakan bahwa biomassa *Sargassum* sp. dapat mengikat krom sebanyak 100 mg/g larutan dengan serapan maksimum pada biomassa 100 mg. Yang *et al.* (1999) dalam penelitiannya juga mengemukakan bahwa serapan rata-rata dengan menggunakan rumput laut *Sargassum* sp. yang mengandung algin mencapai 70 – 80% dengan lama waktu kontak antara 15 menit sampai 3 jam. Aksu *et al.* (1991) dan Nourbakhsh *et al.* (1994) mengemukakan bahwa waktu kontak maksimal biosorpsi logam berat menggunakan *Sargassum* sp. adalah antara 15 menit dan 10 hari.

Tujuan penelitian adalah mendapatkan waktu kontak, biomassa *S. cinerium* dan kombinasi waktu kontak dan biomassa *S. cinerium* yang mampu mengadsorpsi merkuri pada *leachate* secara optimum.

Materi dan Metode

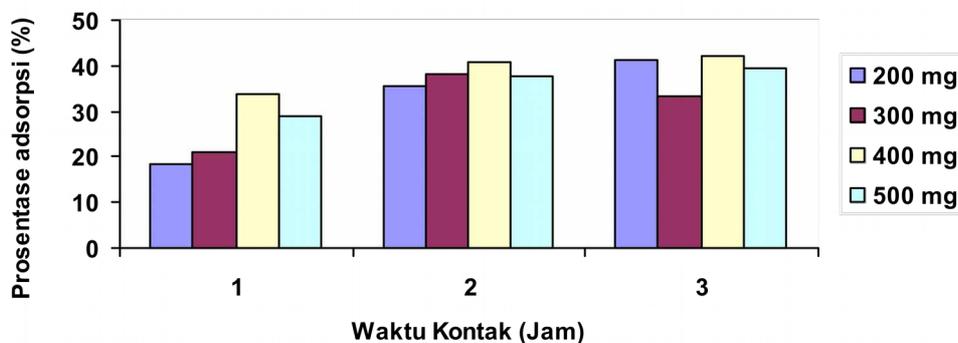
Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental yang disusun berdasarkan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan *Split Plot Design*. Perlakuan yang dicobakan yaitu lama waktu kontak *S. cinerium* dengan *leachate* sebagai main plot dan biomassa *S. cinerium* sebagai sub plot. Lama waktu kontak *S. cinerium* dengan *leachate* terdiri dari 3 taraf (1, 2 dan 3 jam), sedangkan biomassa *S. cinerium* terdiri dari empat taraf (200, 300, 400 dan 500 mg). Semua perlakuan yang dicobakan diulang 3 kali.

Percobaan biosorpsi skala laboratorium dilakukan berdasarkan Hashim dan Chu (2002). Variabel yang diamati adalah variabel bebas dan variabel tergantung. Variabel bebas terdiri dari biomassa *S. cinerium* dan waktu kontak *S. cinerium* dengan *leachate*, sedangkan variabel tergantung yaitu kemampuan biomassa *S. cinerium* dalam mengadsorpsi Cd. Parameter utama yang diamati adalah besarnya Cd yang teradsorpsi oleh *S. cinerium* yaitu selisih antara besarnya Cd yang terdapat *leachate* sebelum dan sesudah perlakuan, sedangkan parameter pendukungnya adalah pH perlakuan dan biomassa akhir. Persentase penurunan Cd dihitung berdasar Yusnita (2007). Data yang diperoleh berupa prosentase adsorpsi Cd dianalisis dengan menggunakan uji F kemudian dilanjutkan dengan Uji Beda Jujur (BNJ).

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan analisa menggunakan AAS memperlihatkan adanya perbedaan jumlah konsentrasi logam pada *leachate* TPA Gunung Tugel sebelum dan sesudah perlakuan. Besarnya logam yang teradsorpsi pada masing-masing perlakuan berbeda, tergantung pada lamanya waktu kontak dan biomassa *S. cinereum*. Konsentrasi Cd yang terdapat pada *leachate* TPA Gunung tugel sebelum perlakuan berkisar 0,057- 0,071 mg/l. Hal tersebut menggambarkan bahwa *leachate* TPA telah terpapar oleh Cd yang berasal dari plastik bekas, residu cat dan baterai sehingga dapat membahayakan organisme maupun lingkungan yang berada di sekitarnya.

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap adsorpsi logam Cd pada *leachate* TPA Gunung Tugel dengan perlakuan lama waktu kontak dan biomassa *S. cinereum*, diperoleh persentase adsorpsi Cd tertinggi pada perlakuan waktu kontak 3 jam dan biomassa 400 mg yaitu sebesar 42,289% dari konsentrasi awal 0,060 mg/l menjadi 0,033 mg/l. Persentase adsorpsi terendah dijumpai pada perlakuan waktu kontak 1 jam dan biomassa 200 mg sebesar 18,616% dari konsentrasi awal 0,059 mg/l menjadi 0,052 mg/l (Gambar 1).



Gambar 1. Adsorpsi Cd pada *leachate* dengan perlakuan waktu kontak dan biomassa *S. cinereum*

Figure 1. Leachate Cd adsorption with treatments of contact time and *S. cinereum* biomass

Persentase adsorpsi Cd pada semua biomassa *S. cinereum* yang diujikan mengalami peningkatan pada waktu kontak 1, 2 dan 3 jam (Gambar 1.). Peningkatan tersebut diduga karena pertambahan jumlah biomassa *S. cinereum* diikuti dengan pertambahan situs aktif yang tersedia pada dinding sel yang berinteraksi dengan ion logam. Situs aktif merupakan bagian dari biomassa yang dapat mengikat ion logam berat. Menurut Indriani dan Sumiarsih (1992), situs aktif pengikat ion logam berupa getah selaput (*masilag*) yang mengandung alginat yang merupakan polimer murni dari asam

uronat yang tersusun dalam bentuk linear panjang. Menurut Kadi (2004), asam alginik tersusun atas asam D-Manuronik dan asam L-Guluronik. Gadd (1990) menyatakan bahwa alginat yang terdapat pada dinding sel eksternal rumput laut merupakan gugus ligan yang bermuatan negatif karena memiliki gugus karboksilat pada asam uronat yang dapat mengikat logam berat.

Menurut Suhendrayatna (2001), proses biosorpsi merupakan salah satu mekanisme removal ion logam berat secara pasif. Proses tersebut terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda yaitu (1) pertukaran ion dimana ion monovalen dan bivalen seperti Na, Mg dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat dan (2) formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karbonil, amino, hidroksil, fosfat dan hidroksil-karboksil yang berada pada dinding sel. Proses secara aktif terjadi secara simultan sejalan dengan konsumsi ion logam dan akumulasi intraseluler ion logam tersebut.

Hasil analisis varian persentase adsorpsi Cd dengan perlakuan lama waktu kontak dan biomassa *S. cinereum* yang berbeda disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis varians perlakuan lama waktu kontak dan biomassa *S. cinereum* dalam mengadsorpsi logam Cd pada *leachate*

Table 1. ANOVA of contact time and *S. cinereum* treatments in absorbing the Cd on the leachate

Sumber Ragam	Db	JK	KT	Fhit		Ftabel	
						0.05	0.01
Waktu Kontak	2	1355.365	677.683	83.419	**	5.14	10.92
Galat a	6	48.743	8.124				
Biomassa	3	370.337	123.446	15.027	**	3.16	5.09
T x L	6	1977.811	329.635	40.128	**	2.66	4.01
Galat b	18	147.864	8.215				
Total	35						

Keterangan: ** = berbeda sangat nyata

Berdasarkan hasil analisis varian, adsorpsi Cd perlakuan main plot (lama waktu kontak) dan sub plot (biomassa) serta interaksi ke duanya menunjukkan hasil yang berbeda sangat nyata (Tabel 1). Hal tersebut menunjukkan bahwa proses adsorpsi Cd sangat dipengaruhi oleh lama waktu kontak dan biomassa, serta interaksi antara lama waktu kontak dengan biomassa. Menurut Holan *et al.* (1993), waktu kontak berpengaruh terhadap adsorpsi logam karena akan mempengaruhi ikatan ion yang memungkinkan tercapainya kejenuhan pada waktu tertentu, sehingga tidak terjadi lagi penambahan jumlah ion yang teradsorpsi. Perlakuan waktu kontak sampai dengan 3 jam belum memungkinkan tercapainya kejenuhan, sehingga adsorpsi logam semakin meningkat dengan semakin lamanya waktu kontak. Kemampuan biomassa *Sargassum* sp. yang mengadsorpsi ion Cr^{6+} dilaporkan oleh Lestari *et al.* (2008) yang dalam penelitiannya menyatakan bahwa adsorpsi maksimum Cr^{6+} oleh biomassa *Sargassum* sp. pada perlakuan lama waktu kontak 45 menit dan biomassa 300 mg yaitu sebesar 17,22% tidak dipengaruhi oleh lama waktu kontak. Perbedaan tersebut diasumsikan bahwa kapasitas adsorpsi biomassa dalam menyerap logam berat yang berbeda valensinya akan berbeda pula. Waktu kontak yang optimum dalam mengadsorpsi Cd (39,168%) adalah 3 jam.

Biomassa berpengaruh terhadap jumlah Cd yang teradsorpsi dan menunjukkan *nilai* yang berbeda sangat nyata satu sama lain. Semakin bertambahnya biomassa, persentase Cd yang teradsorpsi akan meningkat pula sampai mengalami kejenuhan. Selain itu, biomassa juga mempunyai rongga pada dinding sel yang merupakan situs aktif pengikatan ion logam berat melalui proses pembentukan kompleks ion kadmium alginat. Biomassa 400 mg merupakan biomassa yang optimum dalam mengadsorpsi logam Cd (38,936%).

Uji BNJ interaksi lama waktu kontak dan biomassa *S. cinereum* terhadap persentase adsorpsi Cd dapat disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan hasil uji BNJ rata-rata persentase adsorpsi Cd (Tabel 2.) pada kombinasi antara lama waktu kontak dan biomassa *S. cinereum* menunjukkan bahwa untuk tiap-tiap perlakuan memiliki kemampuan adsorpsi yang berbeda satu sama lain. Perlakuan dengan waktu kontak 3 jam dan biomassa 400 mg merupakan kombinasi terbaik dalam mengadsorpsi Cd yaitu 42,289%. Hal ini disebabkan oleh perlakuan tersebut memiliki kesempatan berinteraksi cukup untuk situs aktif terikat ion Hg jumlah biomassa yang telah mencapai optimal dan belum mengalami kejenuhan, sehingga ion logam yang teradsorpsi dapat mencapai maksimum. Nurhayadi (2001) dalam penelitiannya melaporkan bahwa semakin banyak situs aktif maka akan semakin banyak ion logam berat yang teradsorpsi sampai pada suatu titik jenuh tertentu.

Tabel 2. Uji BNJ lama waktu kontak dan biomassa *S. cinereum* terhadap persentase adsorpsi Cd pada *leachate*

Table 2. HSD test of the contact time and *S. cinereum* biomass on the percentage of Cd adsorption of the leachate

Perlakuan	Rerata Persentase Adsorpsi
1 jam; 200 mg	18,616 a
1 jam; 300 mg	21,224 ab
1 jam; 400 mg	33,668 bc
1 jam; 500 mg	28,941 b
2 jam; 200 mg	35,321 bc
2 jam; 300 mg	37,974 c
2 jam; 400 mg	40,852 c
2 jam; 500 mg	37,899 c
3 jam; 200 mg	41,347 c
3 jam; 300 mg	33,400 bc
3 jam; 400 mg	42,289 c
3 jam; 500 mg	39,638 c

Kapasitas biosorpsi *S. cinereum* dipengaruhi juga oleh pH media, sehingga penentuan pengaruh pH *leachate* pada biosorpsi diperlukan untuk keakuratan proses biosorpsi. Asam alginat *S. cinereum* mengandung dua buah gugus karboksil dari monomernya yaitu asam mannuronik dan guluronik, sehingga jumlah Cd teradsorpsi dapat dipengaruhi oleh pH. Nilai pH awal *leachate* sebelum mengalami perlakuan yaitu berkisar antara 7,55 dan 8,14. Setelah mengalami perlakuan, *leachate* mengalami kisaran penurunan nilai pH antara 5,76 dan 6,90. Proses biosorpsi mengalami peningkatan seiring dengan penurunan nilai pH, tetapi mengalami penurunan setelah melewati titik optimum, yaitu pada saat pH \geq 6,53. Adsorpsi optimum Cd berlangsung pada kondisi pH berkisar antara 6,31 dan 6,82.

Kesimpulan

Adsorpsi Cd pada *leachate* optimum pada waktu kontak 3 jam, biomassa *S. cinereum* 400 mg dan kombinasi waktu kontak 3 jam dan biomassa *S. cinerium* 400.mg.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih disampaikan kepada Ketua Lembaga Penelitian UNSOED atas pembiayaan terhadap penelitian ini melalui DIPA Universitas Jenderal Soedirman Tahun Anggaran 2009 dengan Nomor Kontrak :1582.17/H23.6/PL/2009 tanggal 6 April 2009

Daftar Pustaka

- Aksu, Z. and Kutsal, T.A., 1991. Bioseparation process for removing Lead (II) ions from waste water by using *C. vulgaris*. *Journal of Chemical and Technology Biotechnology* 52 (1):109 - 118.
- Cahyono, T.B., Triyantoro, dan Budiono, Z., 1999. Kaji tindak pengelolaan sampah di Kabupaten Banyumas tahun 1998/1999. Depkes RI. Pusat Pendidikan Kesehatan, Purwokerto.
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Banyumas, 2006. Perencanaan teknis pengembangan TPA Gunung Tugel Kecamatan Patikraja Kabupaten Banyumas. Dinas Lingkungan Hidup, Banyumas.
- Fachrudin, A., 1989. Pengaruh sampah di Tempat Pembuangan Akhir Dago Kotamadya Bandung terhadap kualitas air tanah bebas di sekitarnya. Tesis, Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Gadd, G. M., 1990. Biosorption. *Chem and Ind.* 13: 421 - 426.
- Hashim, M.A. and Chu, K.H., 2004. Biosorption of cadmium by brown, green and red Seaweeds. *Chemical Engineering Journal* 97 (2-3): 249-255.
- Holan, Z.R., Volesky, B., and Prasetyo, I., 1993. Biosorption of cadmium by biomass of marine algae. *Biotechnology and Bioengineering* 41: 819 - 825.
- Indriani, H. dan Sumiarsih, E., 1999. Budidaya pengolahan dan pemasaran rumput laut. Swadaya, Jakarta.
- Kadi, A., 2004. Beberapa catatan kehadiran marga *Sargassum* di perairan Indonesia. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jakarta.
- Keman, S. 2003. Pengaruh pembuangan sampah terbuka (*open dumping*) terhadap kualitas kimia air sumur gali penduduk di sekitarnya. *Jurnal Penelitian Medika Eksakta* 4 (2): 147 -156.
- Lestari, S., Hernayanti, dan Insan, I., 2008. Biosorpsi krom heksavalen (Cr^{6+}) menggunakan rumput laut *Sargassum* sp. dalam skala laboratorium. *Biosfera* 25 (3): 129 - 134.
- Nourbakhsh, M., Sag, Y., Ozer, D., Aksu, Z. and Caglar, 1994. A comparative study of various biosorbents for removal of chromium (VI) ions from industrial wastewaters. *Process Biochemistry* 29: 1-5.
- Nurhayadi, D., 2001. Kemampuan *Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli* dengan berat biomassa yang berbeda dalam mengadsorpsi seng. Skripsi S1 (tidak dipublikasikan) Fakultas Biologi UNSOED Purwokerto.
- Soemirat, J., 1999. Kesehatan lingkungan. Gadjah Mada University Press., Yogyakarta.
- Palar, H., 1994. Pencemaran dan toksikologi logam berat. P.T. Rineka Cipta, Jakarta.
- Prasetyo, I., 1994. Pengambilan ion logam berat dari larutan dengan menggunakan ganggang laut. Laporan Penelitian. Fakultas Teknik Kimia Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Sahmoune, M.N., Lauhab, K., and Baukhiar, A., 2008. *The adsorption of chromium from aqueous solution using dead biomass*. *Environmental Research Journal* 2 (5): 254 - 260.
- Sharma, D.C. and Foster, C.F., 1994. *Biores. Technology* 47: 257 - 264.
- Sudarmaji, Mukono, J., dan Corrie, I.P., 2006. Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan* 2 (2): 129 - 142.

- Suhendrayatna, 2001. Bioremoval logam berat dengan menggunakan mikroorganism: Suatu kajian kepustakaan. Institute for Science and Technology Studies (ISTECS9), *Department of Applied Chemistry and Chemical Engineering Faculty of Engineering, Kagoshima University, Kagoshima.*
- Soemirat, J., 1999. Kesehatan lingkungan. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Viera, R.H.S.F. and Volesky, B., 2000. Biosorption: A solution to pollution? *Internat. Microbiol.* 3: 17 - 24.
- Volesky, B. and Holan, Z.R., 1995. Biosorption of heavy metal. *Journal of Chemical and Technology Biotechnology* 11 (3): 235 - 250.
- Yang, J. and Volesky, B., 1999. Biosorption and elution of uranium with seaweed biomass. In: *Biohydrometallurgy and the enviroment toward the mining of the 21st century. International Biohydrometallurgy Symposium Proceedings, 20th – 23rd June, 1999, San Lorenzo de el Escorial, Madrid.*
- Yusnita, R., 2007. Model matematik pada pengolahan limbah cair tahu secara biofiltrasi menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart). Solms). Skripsi (tidak dipublikasikan). Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.