KESETIMBANGAN SORPSI ION SENG(II) PADA PARTIKEL GAMBUT

Munawar

Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jalan Banda Aceh-Medan Km. 280 Buketrata Lhokseumawe 24301
E-mail: munawwar_r1@yahoo.com

Abstrak

Paparan ion seng(II) pada kadar tertentu dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti kram perut, iritasi kulit, batuk, anemia, kerusakan pankreas, gangguan metabolisme protein, penyumbatan pembuluh darah, hingga kerusakan sistem pernafasan. Karena itu, seng(II) termasuk kategori unsur yang harus dibatasi konsentrasinya dalam air minum. Gambut adalah salah satu material yang dapat digunakan untuk mengurangi ion seng dari larutan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari performansi dan kesetimbangan sorpsi ion seng(II) pada partikel gambut oligotropik Indonesia. Penelitian dilakukan secara batch di dalam sejumlah labu erlenmeyer pada temperatur konstan 26 ± 3 °C. Eksperimen dilakukan dalam beberapa variasi konsentrasi awal ion seng dan pH. Data primer adalah konsentrasi residual seng dalam larutan yang diukur secara spektrofotometrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi optimum sorpsi mencapai lebih dari 90% untuk konsentrasi awal seng 50 mg/L. Kesetimbangan sorpsi logam seng(II) pada partikel gambut dapat direpresentasikan dengan baik oleh model isotherm Freundlich dan Langmuir. Untuk rentang pH awal 6, nilai kapasitas sorpsi optimum, q_0 adalah 3,736 mg/g, sedangkan nilai konstanta karakteristik Freundlich, K_f adalah 0,342 L/g.

Kata kunci : efisiensi sorpsi, gambut, isotherm sorpsi, ion seng(II)

Abstract

Extensive exposure of zinc(II) ions may cause eminent health problems, such as stomach cramps, skin irritations, vomiting, anaemia, a damage of pancreas, the disturbance of protein metabolism, and also respiratory disorders. Due to these problems, zinc(II) concentration in drinking water should be controlled. Peat is one of the material that can be used to minimize zinc(II) ions from a solution. The study was done to determine the performance and sorption equilibrium of zinc ions onto oligothropic peat particles. The sorption experiments were conducted in a several batch reactor of erlenmeyer flask at a constant temperature of 26 ± 3 °C. The initial zinc ions concentration and pH were varied. Response variable was residual zinc concentration that was measured spectrophotometrically. Experimental data show that the optimum sorption efficiency was about 90% for the initial zinc(II) concentration of 50 mg/L. Sorption equilibrium can be represented by the Freundlich and Langmuir isotherm models. For the initial pH of 6, the optimum sorption capacity, q_0 was 3,736 mg/g, and the Freundlich's characteristic constant, K_f was about 0,342 L/g.

Key words : peat, sorption equilibrium, sorption isotherm, zinc(II) ions

1. Pendahuluan

Seng(II) merupakan salah satu logam yang digunakan secara luas dalam industri. Seng digunakan terutama sebagai pelapis logam dan bahan campuran logam (Wild, 1993). Logam seng juga digunakan secara luas sebagai katalis, pigmen untuk cat (ZnO), bahan baku baterai, aktivator vulkanisasi pada industri karet, *filler* untuk ban otomotif, stabilizer UV, serta sebagai suplemen makanan. Sekalipun bersifat esensial bagi kesehatan, paparan seng(II) pada kadar tertentu dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti kram perut, iritasi kulit, batuk, anemia, kerusakan pankreas, gangguan metabolisme protein, penyumbatan pembuluh darah, hingga kerusakan sistem pernafasan. Karena itu, dalam Kepmenkes No. 907 tahun 2002, ion seng(II) termasuk kategori unsur yang dapat menimbulkan keluhan konsumen, yang harus dibatasi konsentrasinya dalam air minum, dengan baku mutu 3 mg/L.

Gambut adalah salah satu material yang dapat digunakan untuk mengurangi ion logam berat dari larutan (Brown dkk., 2000). Sekalipun sudah diteliti, penggunaan gambut untuk minimisasi ion logam berat masih memiliki cukup banyak ruang untuk penelitian-penelitian lanjutan. Salah satunya adalah studi tentang penggunaan gambut Indonesia. Indonesia memiliki cadangan material gambut yang cukup besar, dengan total luas lahan mencapai lebih dari 20 juta hektar (Hariyanto, 2001; Radjagukguk, 1997), namun dapat dikatakan masih jarang dimanfaatkan untuk minimisasi ion logam berat.

Gambut adalah material yang kompleks dengan komponen utama yang terdiri dari lignin dan selulosa. Senyawa-senyawa tersebut, khususnya lignin memiliki berbagai gugus fungsi seperti alkohol, aldehida, keton, asam karboksilat, fenolik, hidroksil dan eter yang dapat berperan dalam pembentukan ikatan kimia. Karena sifat polar yang dimilikinya, gambut memiliki daya serap yang relatif tinggi terhadap bahan-bahan terlarut seperti logam dan senyawa organik polar. Karakteristik ini menjadi dasar utama dari berbagai studi tentang penggunaan gambut untuk pemurnian air limbah yang mengandung logam-logam berat (Brown dkk., 2000; Akinbiyi, 2000).

Studi tentang penyisihan seng(II) dari air minum dan air limbah telah dilakukan oleh cukup banyak peneliti, dengan metode

yang cukup beragam. Yulianto (2003) menggunakan metode elektrokoagulasi untuk penyisihan ion seng dari air limbah elektroplating. Peneliti-peneliti lain menggunakan adsorben non komersial seperti residu produk zaitun (Gharaibeh dkk., 1998), kulit kemiri (Cimino dkk., 2000), bakteri (Mameri dkk., 1999), serbuk kayu (Ajmal dkk., 1996), atau jamur (Yin dkk., 1999). Beberapa jenis gambut juga sudah pernah diteliti sebagai sorben untuk ion seng, misalnya gambut lumut (Leslie, 1974), gambut Cina (Zhipei dkk., 1984), serta gambut tropis (Gosset dkk., 1986).

Penelitian ini bertujuan mempelajari peristiwa penyerapan (sorpsi) ion seng(II) pada partikel gambut jenis *oligotropik*, salah satu tipologi umum gambut Indonesia. Tujuan khusus penelitian adalah mempelajari keseimbangan sorpsi ion seng pada partikel gambut oligotropik, menggunakan beberapa model isoterm adsorpsi klasik, yaitu model Langmuir, model Freundlich, dan model BET. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah penelitian gambut Indonesia, sebagai salah satu potensi sumber daya alam nasional yang masih belum dimanfaatkan secara optimal.

2. Metodologi

Adsorben

Adsorben yang digunakan adalah gambut dari Desa Sungai Raya Dalam Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Pontianak, Kalimantan Barat. Karakteristik adsorben sebelum perlakuan awal ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Adsorben

Parameter	Nilai
Warna	Coklat tua
pH	3,25-3,36
Bahan organik, %	71,93-77,35
Karbon organik, %	40,8-46,92
Kadar air, %	48,8-54,18
N total, %	1,05-1,13
KTK, cmol/kg	36,6-39,2
Bulk density, g/cm ³	0,3436-0,4986
Porositas total, %	63,0-85,0

Sumber: Hasil karakterisasi gambut segar

Perlakuan awal gambut sebelum dipakai sebagai adsorben meliputi pengeringan pada temperatur 105 °C selama 8 jam (Ho dan McKay, 2004), pengecilan ukuran partikel dengan cara penumbukan, serta penyortiran ukuran partikel dengan MBT

sieve shaker. Ukuran partikel gambut yang digunakan dalam studi ini adalah 70/200 mesh.

Larutan seng

Larutan *stock* seng dipersiapkan dengan cara melarutkan 4,3965 g kristal $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Merck) di dalam 10 mL asam nitrat (1+1), lalu dipanaskan beberapa menit untuk menghilangkan oksida nitrogen, dan dilarutkan dengan aquades hingga volume 1 liter. Dengan cara ini diperoleh larutan stok dengan konsentrasi seng sebesar 1000 ppm, di mana 1 mL larutan stok setara dengan 1 mg seng. Keseluruhan larutan seng dibuat dengan cara mengencerkan larutan stok tersebut.

Percobaan batch

Percobaan batch dilakukan di dalam sejumlah labu erlenmeyer volume 125 mL yang dikocok dengan kecepatan 125 rpm pada peralatan *rotary shaker*. Sebanyak 3,0 g gambut ditambahkan ke dalam 50 mL larutan seng dengan konsentrasi awal antara 50-250 mg/L. Percobaan dilakukan pada 4 variasi nilai pH, yaitu antara pH 3-6. pH awal diatur dengan asam nitrat dan larutan natrium hidroksida, dan dicatat sebagai pH_o. Setelah pengocokan selama 3 jam, diambil 15 mL supernatan lalu dilakukan sentrifugasi pada 5000 rpm selama 10 menit (Raji dan Anirudhan, 1998; Sakadevan dan Bavor, 1998) dan diperiksa konsentrasi residual seng dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 620 nm (APHA, 1998). Sisa campuran dipisahkan dengan kertas saring Whatman No. 40. pH akhir larutan (pH_e) kemudian diperiksa dengan pH meter.

Percobaan desorpsi

Percobaan ini bertujuan mempelajari efisiensi desorpsi logam seng setelah regenerasi dengan larutan HNO_3 0,05 N. Percobaan desorpsi dilakukan secara batch mengikuti prosedur percobaan 2.3, dilanjutkan dengan pengocokan adsorben jenuh di dalam 50 mL larutan HNO_3 0,05 N selama 3 jam. Konsentrasi seng di dalam larutan kemudian diperiksa dengan spektrofotometer.

Analisis Data

Parameter utama dalam penelitian ini adalah efisiensi sorpsi dan isoterm sorpsi ion Zn(II) pada partikel gambut. Efisiensi sorpsi menyatakan persentase solute yang dapat diserap oleh fasa penyerap (sorben). Secara

empiris, efisiensi sorpsi dihitung dengan persamaan 1:

$$R_e = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \quad (1)$$

dengan R_e adalah efisiensi sorpsi ion Zn(II) pada kesetimbangan, C_o adalah konsentrasi ion Zn(II) mula-mula, dan C_e merupakan konsentrasi ion Zn(II) pada kesetimbangan.

Persentase perolehan kembali (*recovery*) seng(II) pada percobaan desorpsi dihitung dengan persamaan:

$$D_e = \frac{C}{C_o - C_e} \times 100\% \quad (2)$$

dengan C adalah konsentrasi akhir ion seng(II) dalam larutan regenerasi.

Kesetimbangan sorpsi dianalisis dengan tiga model isoterm adsorpsi klasik, yaitu model Langmuir, Freundlich, dan BET. Ketiga model isoterm tersebut diketahui sangat aplikatif untuk berbagai sistem logam-gambut (Akinbiyi, 2000; Brown dkk., 2000). Bentuk linier model Langmuir dapat dinyatakan dalam persamaan 3:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bq_o} + \frac{C_e}{q_o} \quad (3)$$

Dalam persamaan 3, q_o adalah kapasitas sorpsi optimum ion Zn(II) pada partikel gambut, q_e adalah kapasitas sorpsi ion Zn(II) pada kesetimbangan, dan b adalah konstanta. Plot C_e/q_e terhadap C_e pada persamaan (3) akan menghasilkan kurva linier dengan kemiringan (slope) $1/q_o$ dan tinggi (intersep) $1/bq_o$.

Bentuk linier model Freundlich dinyatakan sebagai:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (4)$$

dengan K_f dan n adalah konstanta karakteristik sorpsi. Plot $\ln q_e$ terhadap C_e akan menghasilkan kurva linier dengan slope $1/n$ dan intersep $\ln K_f$.

Bentuk linier model BET adalah:

$$\frac{C_e}{(C_s - C_e)q_e} = \frac{1}{Bq_o} + \left(\frac{B-1}{Bq_o} \right) \frac{C_e}{C_s} \quad (5)$$

dengan C_s adalah kelarutan jenuh solute di dalam larutan, dan B adalah konstanta. Plot $C_e/(C_s - C_e)q_e$ terhadap C_e/C_s akan menghasilkan suatu kurva linier dengan slope $(B-1)/Bq_o$ dan intersep $1/Bq_o$.

3. Hasil dan Pembahasan

Efisiensi sorpsi

Kondisi keasaman (pH) awal sistem dan konsentrasi awal ion seng memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi sorpsi (Gambar 1). Pada semua konsentrasi awal seng, efisiensi sorpsi (R_e) meningkat sejalan dengan meningkatnya pH larutan. Hal ini menunjukkan bahwa sorpsi seng dengan gambut merupakan peristiwa yang tergantung pada pH. Jika mengacu pada Brown dkk. (2000), hal ini konsisten dengan pendapat umum para peneliti yang menyatakan bahwa kapasitas sorpsi gambut terhadap kation sangat berkaitan dengan pH larutan. Gambar 1 menunjukkan bahwa pH optimum untuk sistem seng-gambut adalah pH 6. Fakta ini sangat relevan dengan Gosset dkk. (1986) yang melaporkan bahwa pH optimum untuk sorpsi logam seng dengan gambut adalah di atas 5,5.

Gambar 1. Efek pH dan konsentrasi awal ion zink terhadap efisiensi sorpsi

Para peneliti menemukan fakta bervariasi tentang rentang pH optimum untuk sorpsi logam dengan gambut. Namun demikian, data mereka menunjukkan bahwa rentang pH yang dapat dipakai sebagai acuan adalah antara 3-8, dengan rentang pH optimum antara 3,5-6,5 (Brown dkk., 2000). Hal ini berkaitan erat dengan karakteristik kimia gambut. Menurut Coupal dan Lalancette (1976), pada pH di atas 8 gambut bersifat

tidak stabil, sedangkan pada pH di bawah 3 ion-ion logam akan tertukarkan oleh ion hidrogen yang terdapat di dalam larutan.

Di sisi lain, efisiensi sorpsi turun dengan makin besarnya konsentrasi awal seng di dalam larutan. Efisiensi sorpsi optimum adalah sebesar 90,63 %, yang dicapai pada konsentrasi awal 50 mg/L dan pH awal 6. Para peneliti yang lain menemukan fakta yang berbeda-beda tentang efisiensi sorpsi logam seng dengan gambut. Faktor perbedaan jenis gambut nampaknya menjadi alasan utama perbedaan tersebut. Zhipei dkk. (1984) yang menggunakan gambut Cina melaporkan efisiensi sorpsi antara 17-96,9 %. Sementara Leslie (1974), yang memakai gambut lumut melaporkan efisiensi sorpsi sebesar 98,9 %. Sedangkan Gosset dkk. (1986) yang menggunakan jenis gambut lain melaporkan efisiensi sorpsi sebesar 90 % (Brown dkk., 2000), yang cukup dekat dengan hasil penelitian ini.

Regenerasi adsorben

Salah satu karakteristik yang dianggap keunggulan suatu adsorben adalah sifat *regenerable* (dapat diregenerasi). Adsorben yang baik adalah yang paling mudah dan murah untuk diregenerasi. Berdasarkan hasil percobaan desorpsi, ternyata hampir semua ion seng dapat disisihkan dari fasa sorben saat dikontakkan dengan asam nitrat 0,05N. Efisiensi desorpsi seng(II) adalah sekitar 97,02 % (Tabel 2). Hal ini sejalan dengan yang dilaporkan Gosset dkk. (1986), bahwa kebanyakan logam dapat disisihkan dari gambut menggunakan asam. Demikian juga Aho dan Tummavori (1984) yang menemukan bahwa gambut dapat diregenerasi dengan menggunakan sedikit asam dan aquades.

Para peneliti awal tentang gambut dapat dikatakan mengabaikan kemungkinan regenerasi gambut untuk keperluan *recycle*. Hal ini terjadi karena alasan teknis, atau karena pada masa itu kegiatan *recovery* dan regenerasi adsorben tidak seekonomis pada tahun-tahun belakangan (Brown dkk., 2000). Coupal dan Lalancette (1976) menyatakan bahwa gambut jenuh harus ditangani dengan insinerasi atau penanaman (*landfilling*).

Tabel 2. Performansi Desorpsi Seng(II)

Adsorpsi			Desorpsi	
Co, mg/L	Ce, mg/L	Co-Ce, mg/L	C, mg/L	Efisiensi, %
50,0	10,69	39,31	38,13	97,02

Sharma dan Forster (1993) berpendapat bahwa ikatan kimia gambut-kromium hanya dapat ditangani dengan insinerasi. Sementara itu, peneliti-peneliti lain justru membuktikan kemungkinan regenerasi gambut dengan hasil yang sangat baik. Gardea-Torresdey dkk. (1996) menyatakan bahwa 95-100 % logam Cu yang terserap dapat terdesorpsi dengan larutan HCl 0,1 M. Trujillo dkk. (1991) melakukan regenerasi dengan 0,02 kg/l H_2S dan larutan Na_2CO_3 0,1 M. Hasil-hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sebagai adsorben, gambut dapat diregenerasi dengan beberapa jenis asam encer, aquades, dan soda abu. Menurut Brown dkk. (2000) gambut yang telah diregenerasi menunjukkan kinerja yang tidak jauh berbeda dengan gambut segar setidaknya untuk 5 kali regenerasi.

Model Keketimbangan Sorpsi

Model keketimbangan sorpsi umumnya merupakan representasi kapasitas sorpsi kesetimbangan sorbat di dalam sorben (q_e) sebagai fungsi konsentrasi kesetimbangan sorbat di dalam larutan (C_e). Secara visual, data-data keketimbangan sorpsi yang diperoleh menunjukkan fenomena yang konsisten dengan studi-studi sebelumnya (Gambar 2a), di mana para peneliti umumnya sepakat bahwa korelasi q_e dan C_e untuk sistem logam-gambut merupakan suatu fungsi non linier (Ho dkk., 1995; Akinbiyi, 2000). Karena itu, sesuai dengan hipotesis awal, keketimbangan sorpsi akan lebih cocok dianalisis dengan model-model isoterm non linier, misalnya model Langmuir, Freundlich, dan model BET.

Gambar 2. (a) Plot q_e terhadap C_e , (b) plot linier model BET, (c) plot linier model Freundlich, dan (d) plot linier model Langmuir

Tabel 3. Perbandingan Model Langmuir, Freundlich, dan BET

pH ₀	Model Langmuir			Model Freundlich			Model BET		
	q_o , mg/g	b , L/mg	r^2	K_f , L/g	$1/n$	r^2	q_o , mg/g	B , L/mg	r^2
3,0	3,362	0,032	0,979	0,286	0,490	0,989	0,683	-16,46	0,927
4,0	3,289	0,043	0,982	0,348	0,463	0,986	0,621	-12,46	0,923
5,0	3,675	0,039	0,979	0,331	0,498	0,991	0,701	-15,28	0,926
6,0	3,736	0,040	0,980	0,342	0,497	0,990	0,804	-22,66	0,937

Tabel 4. Model Isoterm Sorpsi untuk Sistem Gambut-Logam

Logam	Model isoterm sorpsi	Referensi
Pb(II)	Freundlich	Akinbiyi (2000)
	Langmuir	Ho & McKay (1999); Brown (1993)
Ni(II)	Langmuir dan Freundlich	Ho dkk. (1995)
	Langmuir	Viraraghavan & Dronamraju (1995)
Cu(II)	Langmuir	Ho & McKay (2000); Viraraghavan & Dronamraju (1995); McKay & Porter (1997); Brown (1993)
Zn(II)	Langmuir	Bencheikh-Lehocine (1989); Viraraghavan & Dronamraju (1995); McKay & Porter (1997); Brown (1993)
	Langmuir dan Freundlich	Studi ini
Hg(II)	Langmuir dan Freundlich	Viraraghavan & Kapoor (1995)
Cr(VI)	Langmuir	Sharma & Forster (1993)
Cd(II)	Langmuir	McKay & Porter (1997); Brown (1993)
Al(III)	Langmuir	Brown (1993)

Faktanya, plot linier model-model isoterm sorpsi, khususnya model Langmuir dan Freundlich, menunjukkan korelasi yang sangat baik dengan data-data percobaan (Gambar 2c dan 2d). Nilai koefisien determinasi kedua model adalah 0,979-0,982 untuk model Langmuir, dan 0,986-0,991 untuk model Freundlich (Tabel 3). Hal tersebut menunjukkan bahwa model Freundlich dan Langmuir lebih cocok untuk merepresentasikan kesetimbangan sorpsi sistem ion seng-gambut. Kapasitas sorpsi optimum, q_o ion seng(II) pada gambut oligotropik adalah 3,736 mg/g, sedangkan konstanta karakteristik, K_f adalah 0,342 L/g, dicapai pada kondisi pH awal 6 (Tabel 3).

Sedikit berbeda dengan fakta penelitian ini, para peneliti lain seperti Bencheikh-Lehocine (1989), Viraraghavan & Dronamraju (1995), McKay & Porter (1997), dan Brown (1993) umumnya sepakat bahwa model Langmuir adalah model yang lebih cocok untuk sistem seng-gambut. Kontradiksi seperti ini sudah sering dilaporkan oleh peneliti-peneliti lain yang mempelajari sistem logam-gambut. Tabel 4 memberikan gambaran tentang model-model kesetimbangan sorpsi yang pernah dilaporkan untuk sistem logam-gambut. Beberapa faktor yang diperkirakan menjadi penyebab perbedaan tersebut adalah karakteristik

gambut yang digunakan, jenis ion logam, konsentrasi ion logam, kondisi keasaman sistem, serta mekanisme sorpsi yang terjadi.

Menurut Ho dan McKay (2004), gambut tersusun dari ribuan senyawa kimia yang berbeda, sehingga proses sorpsi pada permukaan gambut dapat terjadi melalui berbagai mekanisme seperti adsorpsi fisik, adsorpsi elektrostatis, adsorpsi kimia, atau adsorpsi-kompleksasi. Kebanyakan peneliti sepakat bahwa sorpsi ion seng-gambut mengikuti mekanisme adsorpsi elektrostatis dan kompleksasi (Wolf dkk., 1997; Notodarmojo, 2005). Mekanisme tersebut umumnya cocok dengan model isoterm Freundlich dan isoterm Langmuir. Kedua model kesetimbangan sorpsi tersebut memang dikembangkan dengan asumsi bahwa interaksi fasa sorbat dan sorben terjadi melalui *monolayer* antara kedua fasa tersebut. Bedanya, Langmuir menggunakan asumsi bahwa permukaan sorben bersifat homogen dan memiliki energi yang sama, sebaliknya Freundlich berasumsi bahwa permukaan sorben bersifat heterogen dengan energi yang berbeda-beda.

4. Kesimpulan

Gambut oligotropik Indonesia tergolong adsorben yang baik untuk penyisihan ion seng(II) dari larutan. Sebagai

adsorben, gambut ini dapat menyisihkan ion seng dengan efisiensi optimum 90,63 % untuk konsentrasi awal seng 50 mg/L. Sebanyak 97,02% seng(II) dapat diperoleh kembali melalui pengontakan dengan asam nitrat encer. Kesetimbangan sorpsi sangat dipengaruhi oleh konsentrasi awal ion seng, dan pH sistem. Kondisi optimum dicapai pada pH 6. Analisis data kesetimbangan sorpsi menunjukkan bahwa isoterm sorpsi logam seng(II) pada gambut merupakan model Freundlich dan Langmuir, dengan koefisien determinasi mencapai 0,991 untuk model Freundlich, dan 0,982 untuk model Langmuir. Pada kondisi optimum, nilai kapasitas sorpsi optimum, q_0 adalah 3,736 mg/g, sedangkan konstanta karakteristik, K_f adalah 0,342 L/g.

Daftar Pustaka

- Aho, M.; Tummavori, J., *On The Ion Exchange Properties of Peat. Part IV: The Effect of Experimental Conditions on Ion Exchange of Sphagnum Peat*, Suo, 1984, Vol. 35(2), 47-53.
- Ajmal, M.; Rao, R.A.K.; Siddiqui, B.A., *Studies on Removal and Recovery of Cr(IV) from Electroplating Waste*, Water Research, 1996, Vol. 30(6), 1478-1482.
- Akinbiyi, A., *Removal of Lead from Aqueous Solutions by Adsorption Using Peat Moss*, Master Thesis, University of Regina, Canada, 2000, 26-63.
- APHA, *Standard Methods for Examination of Water and Waste Water*, 4th edition, American Public Health Association, Washington DC., 1998.
- Bencheikh-Lehocine, M., *Zinc removal using peat adsorption*, Environmental Technology Letters, 1989, Vol. 10, 101-108.
- Brown, P.A.; Gill, S.A.; Allen, S.J., *Metal removal from wastewater using peat*, Water Research, 2000, Vol. 34(16), 3907-3916.
- Brown, P.A., *The Application of Peat and Lignite to The Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater*, PhD. Dissertation, Queens University, Belfast, 1993.
- Cimino, G.; Passerini, A.; Toscano, G., *Removal of toxic cations and Cr(VI) from aqueous solution by hazelnut shell*, Water Research, 2000, Vol. 34(11), 2955-2962.
- Coupal, B.; Lalancette, J.M., *The treatment of wastewater with peat moss*, Water Research, 1976, Vol. 10, 1071-1076.
- Gardea-Torresdey, J.L.; Tang, L.; Salvador, J.M., *Copper Adsorption by Esterified and Unesterified Fraction of Sphagnum Peat Moss and Its Different Humic Substances*, Journal of Hazardous Materials 1996, Vol. 48, 191-206.
- Gosset, T.; Trancart, J.L.; Thevenot D.R., *Batch metal removal by peat kinetics and thermodynamics*, Water Research, 1986, Vol. 20(1), 21-26.
- Gharaibeh, S.H.; Abu-el-Sha'r, W.Y.; Al-Kofahi, M.M., *Removal of selected heavy metal from aqueous solution using process solid residue of olive mill products*, Water Research, 1998, Vol. 32(2), 498-502.
- Hariyanto, S., *Alternatif pemanfaatan gambut dalam penanganan limbah cair*, Jurnal Kimia Lingkungan, 2001, Vol. 3(1), 53-59.
- Ho, Y.S.; John Wase, D.A.; Forster, C.F., *Batch nickel removal from aqueous solution by sphagnum moss peat*, Water Research, 1995, Vol. 29(5), 1327-1332.
- Ho, Y.S.; McKay, G., *Sorption of copper(II) from aqueous solution by peat*, Water, Air, and Soil Pollution, 2004, Vol. 158(1), 77-97.
- Leslie, M.E., *Peat: New medium for treating dye house effluent*, American Dyestuff Reporter, 1974, Vol. 63(8), 15-18.
- Mamery, N.; Boudries, N.; Addour, L.; Belhocine, D.; Lounici, H.; Grib, H.; Pauss, A., *Batch zinc biosorption by a bacterial non living streptomyces rimosus biomass*, Water Research, 1999, Vol. 33(6), 1347-1354.
- McKay, G.; Porter, J.F., *Equilibrium parameters for the sorption of copper, cadmium, and zinc ions onto peat*, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 1997, Vol. 69(3), 309-320.
- Notodarmojo, S., *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*, Penerbit ITB, Bandung, 2005, 230-272.
- Radjaguguk, B., *Peat soils of Indonesia: Location, classification and problem for sustainability*, in Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands; Rieley,

J.O.; Page, S.E., Eds.; Samara Publishing Ltd., United Kingdom, 1997, 45-54.

Raji, C.; Anirudhan, T.S., *Batch Cr(VI) removal by polyacrylamide-grafted sawdust*, Water Research, 1998, Vol. 32(12), 3772-3780.

Sakadevan, K.; Bavor, H.J., *Phosphate adsorption characteristics of soils, slags and zeolite to be used as substrate in constructed wetland systems*, Water Research, 1998, Vol. 32(2), 393-399.

Sharma, D.C.; Forster, C.F., *Removal of hexavalent chromium using sphagnum moss peat*, Water Research, 1993, Vol. 27(7), 1201-1208.

Trujillo, E.M.; Jeffers, T.H.; Ferguson, C.; Stevenson H.Q., *Mathematically Modelling The Removal of Heavy Metal from A Wastewater Using Immobilized Biomass*, Environmental Science and Technology, 1991, Vol. 25(9), 1559-1565.

Viraraghavan, T.; Dronamraju, M.M., *Removal of copper, nickel and zinc from wastewater by adsorption using peat*, Journal of Environmental Science and Health Part A, 1995, Vol. 28(6), 1261-1276.

Viraraghavan, T.; Kapoor, A., *Adsorption of mercury from wastewater by peat*, Journal of Environmental Science and Health Part A, 1995, Vol. 30(3), 553-556.

Wild, A., *Soils and the Environment: An Introduction*, Cambridge University Press, Great Britain, 1993.

Wolf, A.; Bunzl, K.; Dietl, F.; Schmidt, W.F., *Effect of Ca^{2+} ions on The Adsorption of Pb^{2+} , Cu^{2+} , and Zn^{2+} by Humic Substances*, Chemosphere, 1977, Vol. 5, 207-213.

Yin, P.; Yu, Q.; Jin, B.; Ling, Z., *Biosorption removal of cadmium from aqueous solution by using pretreated fungus biomass cultured from starch wastewater*, Water Research, 1999, Vol. 33(8), 1960-1963.

Yulianto, B., *Penyisihan dan Perolehan Kembali Zn dalam Air Limbah Elektroplating dengan Proses Elektrolisis*, Thesis, ITB, Bandung, 2003.

Zhipei, Z.; Junlu, Y.; Zenghui, W.; Piya, C., *A Preliminary Study of The Removal of Pb^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{2+} from Wastewater with Several Chinese Peat*, in Proceeding of the 7th International Peat Congress, Dublin, 1984, 147-152.