

POTENSI ADSORPSI POLUTAN ANORGANIK OLEH LEMPUNG CENGAR: KAJIAN ISOTERMA DAN MEKANISME ADSORPSI BATCH KATION Ni(II) DI DALAM MEDIA AIR

Muhdarina^{1*)}, A.W.Mohammad²⁾, A.Muchtar³⁾

¹⁾Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Riau, Pekanbaru,

²⁾Jabatan Kimia dan Proses, FKAB, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi

³⁾Jabatan Mekanik dan Bahan, FKAB, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi

^{*}Email korespondensi: muhdarina@yahoo.com

ABSTRAK

Lempung Cengar yang terdiri atas mineral kaolinit dan muskovit telah digunakan pada proses adsorpsi secara batch kation Ni(II) di dalam air. Tiga model adsorben lempung Cengar telah disediakan sebagai lempung alam Cengar (INC-O), lempung Cengar yang dimodifikasi dengan garam ammonium asetat (INC-AA) dan sodium asetat (INC-SA). Proses adsorpsi diamati melalui parameter waktu, konsentrasi, pH larutan dan suhu proses adsorpsi. Data adsorpsi dipelajari menurut model isoterma Freundlich, Langmuir dan Dubinin-Raduskevich (D-R), serta mekanisme secara difusi intra-partikel dan difusi filem. Kapasitas adsorpsi maksimum Ni(II) sebanyak 0.45 mg/g pada konsentrasi awal 20 mg/L, suhu 30°C dan waktu 180 menit didapati pada lempung Cengar alam (INC-O). Adsorpsi kation Ni(II) pada lempung Cengar sesuai dengan model isoterma Langmuir dan Dubinin-Raduskevich dan terjerap secara fisika. Mekanisme adsorpsi kation Ni(II) di atas lempung Cengar sesuai dengan difusi filem dan intra-partikel. Langkah modifikasi yang dipilih belum mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi Ni(II) pada lempung Cengar.

Kata kunci: Lempung Cengar, adsorpsi batch, model isoterma, mekanisme adsorpsi

PENDAHULUAN

Nikel dapat meracuni organisme yang hidup di air, meski pada konsentrasi yang sangat rendah sekalipun. Efek keracunan nikel pada kesehatan manusia diantaranya berupa reaksi alergi. Penyerapan nikel dalam jumlah besar dapat menyebabkan kanker paru-paru dan sinus hidung. Menurut EPA (*Environmental Protection Agency*) US, kadar nikel di dalam air minum tidak boleh melebihi 0,04 mgL⁻¹ (Wang dkk, 2007).

Pemanfaatan lempung dalam proses penyerapan atau pembuangan bahan beracun dan logam berat dalam air limbah telah banyak menjadi fokus penelitian dan pengembangan oleh para pakar. Hal ini disebabkan karena dengan penggunaan lempung akan mengurangi penambahan bahan kimia, disamping juga mengurangi biaya proses bila dibandingkan dengan adsorben alternatif lain seperti karbon aktif, zeolit alam maupun sintetik, resin penukar ion serta bahan penyerap lainnya. Lempung juga memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi dan stabil secara



fisik maupun kimia. Meskipun demikian, konsep adsorpsi dalam penanggulangan kontaminasi logam berat oleh lempung belum dipelajari secara ekstensif (Chen dkk, 2008). Padahal metoda adsorpsi terbukti sebagai metoda yang lebih efektif untuk melepaskan polutan logam berat mulai dari konsentrasi rendah sampai sedang (Manohar dkk, 2006; Eren dan Afsin, 2008; Mouta dkk, 2008; Yu dkk, 2008).

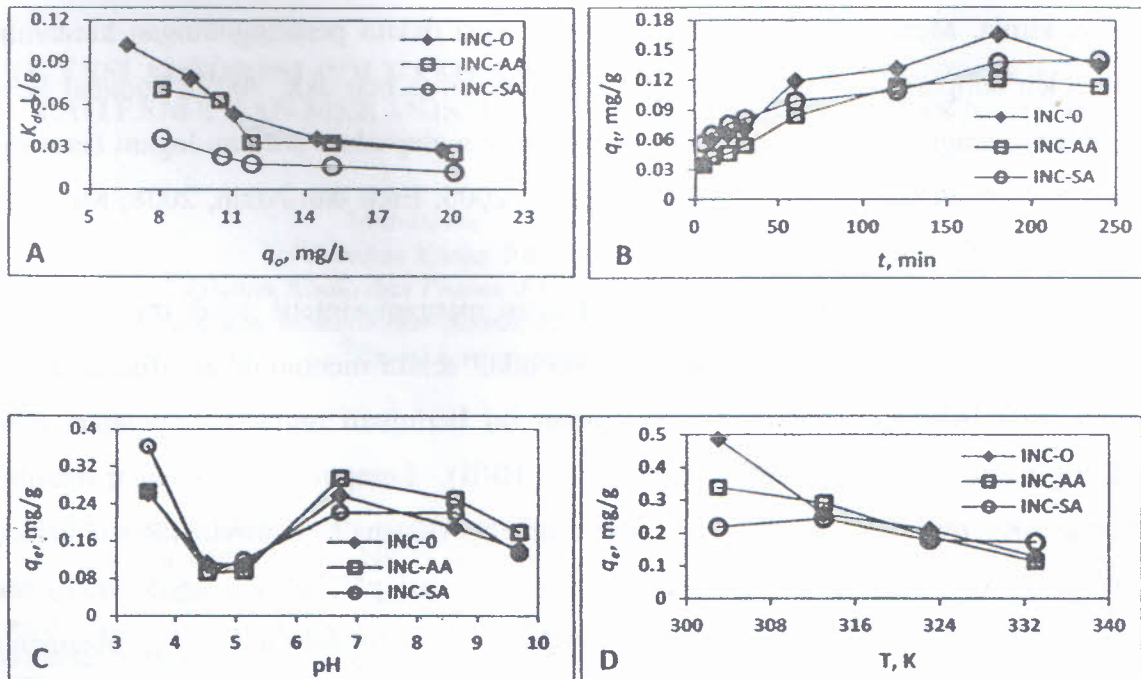
Dalam beberapa dekade yang lalu, zeolit alam maupun sintetis telah dipelajari untuk menghilangkan logam berat dari dalam air. Namun nikel selalu menunjukkan afinitas adsorpsi yang rendah pada beberapa zeolit alam. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari potensi lempung Cengar dalam menyerap kation logam berat Ni(II). Lempung alam Cengar diambil di tepi anak sungai Kuantan di Desa Cengar, Kuantan Singingi (Kuansing), Provinsi Riau. Kapasitas adsorpsi dilacak dengan mengubah kondisi eksperimen seperti pH larutan, konsentrasi, waktu kontak dan suhu proses. Data yang terkumpul dievaluasi melalui model-model keseimbangan dan mekanisme adsorpsi.

HASIL DAN DISKUSI

Kesan Beberapa Parameter Adsorpsi

Kesan konsentrasi awal larutan kation ditunjukkan seperti tampak pada Gambar 1A. Nilai K_d adsorpsi kation Ni(II) berkurang dengan peningkatan konsentrasi awal larutan. Ini menjelaskan bahwa pada konsentrasi tertentu situs aktif yang ada sudah jenuh dengan adsorbat. K_d adalah rasio antara konsentrasi kation yang terjerap (q_e) dan konsentrasi kation yang tinggal di dalam larutan (C_e). Kapasitas adsorpsi kation Ni(II) pada lempung Cengar sebagai fungsi waktu kontak ditampilkan pada Gambar 1B. Adsorpsi Ni(II) pada ketiga lempung Cengar (INC-O, INC-AA dan INC-SA) terus meningkat sampai 120 menit, selanjutnya kapasitas adsorpsi berkurang hingga mencapai waktu keseimbangan pada 180 menit. Lempung alam INC-O menunjukkan kapasitas adsorpsi lebih tinggi pada 180 menit dari pada lempung lainnya. Wang dkk. (2007) melaporkan Ni(II) terjerap dengan cepat pada 30 menit pertama di atas Na-mordenit dan diikuti tahap adsorpsi kedua yang lebih lambat setelah 120 menit.





Gambar 1. Pola adsorpsi kation Ni(II) oleh lempung Cengar pada parameter: A. konsentrasi awal, B. waktu kontak, C. pH larutan dan D. temperatur

Dalam Gambar 1C ditunjukkan kapasitas adsorpsi Ni(II) yang tinggi pada lempung Cengar terjadi pada pH 3.5 dan 6.7. Adsorpsi pada INC-SA lebih banyak terjadi pada pH 3.5 dibandingkan dengan pH 6.7, tetapi pada INC-O dan INC-AA jumlah Ni(II) yang terjerap hampir sama pada kedua pH tersebut. Laporan yang hampir sama ditunjukkan oleh da Fonseca dkk. (2005), kapasitas adsorpsi Ni(II) ke atas vermikulit alam meningkat secara perlahan dari pH 3.5 – 5. Kapasitas adsorpsi kation Ni(II) pada lempung Cengar berkurang dengan kenaikan suhu proses, artinya interaksi situs aktif lempung dengan kation berjalan secara eksotermal. Hasil yang sama dilaporkan oleh Gupta dan Bhattacharyya (2008) untuk adsorpsi Ni(II) ke atas kaolinit. Pada suhu tinggi daya ikat antara kation dengan permukaan lempung dan sesama kation dalam fasa terjerap tidak stabil dan lemah sehingga kation akan terbebas dan keluar meninggalkan permukaan (Alkan dkk. 2004).

Isoterma Adsorpsi

Analisis keseimbangan terhadap data adsorpsi merupakan hal penting untuk mendapatkan model yang sesuai dengan kondisi yang berjalan. Model Freundlich, Langmuir dan Dubinin-Raduskevich (D-R) adalah model-model keseimbangan yang biasa diterapkan dalam pengolahan

air limbah. Isoterma Freundlich mempelajari proses adsorpsi pada permukaan yang heterogen menurut hubungan linear berikut:

$$\log q_e = \log k_F + 1/n \log C_e \quad (2)$$

dengan q_e dan C_e masing-masing adalah konsentrasi keseimbangan kation di atas permukaan adsorben (mg g^{-1}) dan konsentrasi keseimbangan kation dalam fasa cair (mg L^{-1}), k_F dan $1/n$ adalah tetapan Freundlich yang menyatakan kapasitas dan intensitas adsorpsi (Wang dkk, 2007; Nadeem dkk, 2009). Parameter $1/n$ merupakan ciri khas model Freundlich (Mane dkk, 2007) yaitu faktor heterogenitas yang menggambarkan proses adsorpsi pada permukaan yang heterogen. Kurva Freundlich adsorpsi Ni(II) pada lempung Cengar didapat dengan memplot $\log C_e$ versus $\log q_e$ dari persamaan (2) di atas. Tetapan Freundlich k_F dan n serta koefisien korelasi R^2 disajikan di dalam Tabel 1. Menurut kurva ini, data adsorpsi tidak memberikan hubungan linear yang ditunjukkan dengan koefisien korelasi $R^2 \ll 1$. Dengan demikian, adsorpsi kation Ni(II) pada lempung Cengar tidak mengikuti model isoterma Freundlich.

Menurut Langmuir, adsorpsi yang terjadi di atas permukaan yang homogen membentuk lapisan tunggal (*monolayer*), tanpa interaksi di antara molekul-molekul yang terjerap. Bentuk linear persamaan Langmuir dinyatakan sebagai:

$$C_e/q_e = (1/bq_m) + (1/q_m)C_e \quad (3)$$

C_e (mg L^{-1}) dan q_e (mg g^{-1}) masing-masing adalah konsentrasi kation di dalam larutan dan yang terjerap di atas fasa padat pada keseimbangan, b (L mg^{-1}) adalah tetapan Langmuir yang berkaitan dengan energi atau entalpi adsorpsi, q_m (mg g^{-1}) merupakan kapasitas adsorpsi maksimum (Gupta dan Bhattacharyya 2008; Wang dkk, 2007). Tetapan b dan q_m diperoleh dari intersep dan slop dari plot C_e/q_e lawan C_e dari persamaan (3) di atas (Gambar 2 A). Gambar ini menyatakan bahwa data eksperimen adsorpsi kation Ni(II) pada lempung Cengar sangat sesuai dengan model Langmuir yang didukung oleh nilai R^2 : 0,9- 1,0. Tetapan Langmuir b dan q_m serta koefisien korelasi R^2 ditunjukkan di dalam Tabel 1. Bentuk isoterma Langmuir dapat dinyatakan sebagai faktor pemisahan atau parameter keseimbangan R_L yang dituliskan sebagai:

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0} \quad (4)$$

dengan C_0 adalah konsentrasi awal (mg L^{-1}) bahan dijerap (Eren dan Afsin, 2008; Gupta dan Bhattacharyya 2008). Proses adsorpsi kation Ni(II) pada lempung Cengar menunjukkan bentuk isoterma dengan $0 < R_L < 1$. Besarnya nilai tersebut menyatakan bahwa proses adsorpsi berjalan



dengan baik atau berkesan. Mengacu kepada tetapan b , q_m dan R_L (Tabel 1), terlihat bahwa lempung Cengar asli menunjukkan nilai yang paling besar dari pada dua lempung Cengar yang lain. Dengan demikian kation Ni(II) lebih banyak terjerap pada lempung Cengar alam (tanpa modifikasi) dari pada kedua lempung yang lainnya.

Isoterma Dubinin-Raduskevich (D-R) menjelaskan keheterogenan energi yang terlibat untuk menutupi permukaan penjerap oleh kation, dengan menentukan energi bebas adsorpsi rerata (E) yaitu energi bebas untuk memindahkan 1 mol ion logam dari larutan menuju permukaan bahan penjerap (Hasan dkk. 2009; Naiya dkk. 2009; Seki dan Yurdakoc 2009). Isoterma D-R oleh Gupta dan Babu (2009) dinyatakan dalam bentuk linear sebagai berikut:

$$\ln q_e = \ln q_m - \beta \varepsilon^2 \quad (5)$$

dengan q_e dan q_m berturut-turut adalah jumlah kation terjerap per unit berat bahan penjerap (mol g^{-1}) dan kapasitas adsorpsi (mol g^{-1}), β adalah tetapan yang berkaitan dengan energi adsorpsi ($\text{mol}^2 \text{kJ}^{-2}$). Perbedaan energi bebas antara fasa kation terjerap dan fasa kation dalam larutan jenuh disebut sebagai potensi adsorpsi Polanyi (ε) (Gubbuk dkk. 2009; Naiya dkk. 2009; Seki dan Yurdakoc, 2009) yang dinyatakan menurut persamaan:

$$\varepsilon = RT \ln(1 + 1/C_e) \quad (6)$$

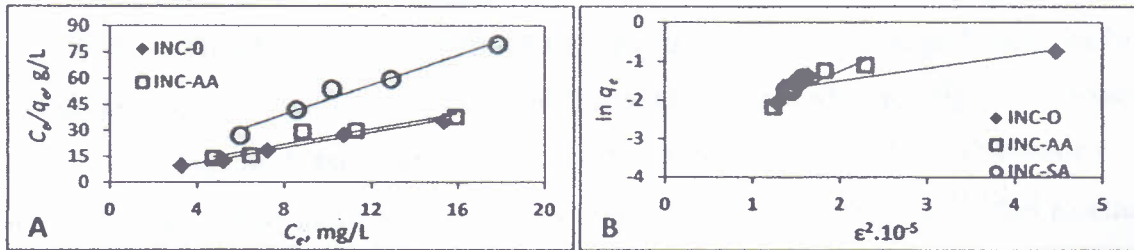
C_e adalah konsentrasi kation terjerap dalam larutan pada keseimbangan (mol L^{-1}), R tetapan gas universal ($8.314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$) dan T suhu mutlak (K). Dengan membuat plot $\ln q_e$ versus ε^2 dari persamaan (5) pada suhu yang berbeda, maka nilai q_m diperoleh dari intersep dan nilai β dari slop (Gambar 2B). Tetapan β berkaitan dengan energi bebas adsorpsi rerata E (kJ mol^{-1}) yang ditulis seperti persamaan berikut:

$$E = 1/\sqrt{2\beta} \quad (7)$$

Nilai E dari isoterma D-R ini menunjukkan mekanisme adsorpsi yang terjadi, secara kimia atau fisika (Cabuk dkk. 2006; Gubbuk dkk. 2009). Sistem dengan energi adsorpsi $8 < E < 16$ (kJ mol^{-1}) adalah proses dengan mekanisme pertukaran ion dan $E < 8 \text{ kJmol}^{-1}$ merupakan proses adsorpsi secara fisika (Naiya dkk, 2009; Sawalha dkk, 2006). Dengan mengacu kepada grafik yang terbentuk dan nilai R^2 , maka sistem adsorpsi kation Ni(II) pada lempung Cengar juga sesuai dengan model isoterma D-R. Nilai setiap tetapan dari model D-R ditunjukkan di dalam Tabel 1. Menurut isoterma D-R ini, adsorpsi Ni(II) pada lempung Cengar alam memiliki energi adsorpsi, E , paling tinggi dari pada adsorpsi pada dua lempung Cengar modifikasi. Energi ini mendukung hasil yang telah ditunjukkan oleh model isoterma Langmuir. Dari Tabel 1



diperlihatkan bahwa proses adsorpsi kation Ni(II) pada semua lempung Cengar menunjukkan nilai $E < 8 \text{ kJ mol}^{-1}$. Dengan demikian mekanisme adsorpsi kation berlangsung secara fisika. Adsorpsi secara fisika disebabkan oleh interaksi antara situs adsorpsi dari lempung Cengar dengan kation setingkat dengan interaksi elektrostatik Coulomb (Alkan dkk, 2004).



Gambar 2. Grafik model adsorpsi kation Ni(II) oleh lempung Cengar, A. Isotherma Langmuir dan B. Isotherma D-R.

Tabel 1. Nilai tetapan isoterma Freundlich, Langmuir dan D-R adsorpsi kation Ni(II) oleh lempung Cengar

Model	INC-O	INC-AA	INC-SA
Tetapan			
Isotherma Freundlich:			
$k_F, L g^{-1}$	0.599	0.594	0.488
n	8.382	9.208	25.773
$1/n$	0.12	0.11	0.04
R^2	0.60	0.13	0.05
Isotherma Langmuir:			
$b, L mg^{-1}$	0.985	0.503	0.794
$q_m, mg g^{-1}$	0.450	0.449	0.235
R_L	0.167	0.132	0.08
R^2	0.99	0.90	0.97
Isotherma D-R:			
$q_m, mg g^{-1}$	0.116	0.042	0.013
$E, kJ mol^{-1}$	0.408	0.224	0.158
R^2	0.80	0.86	0.85

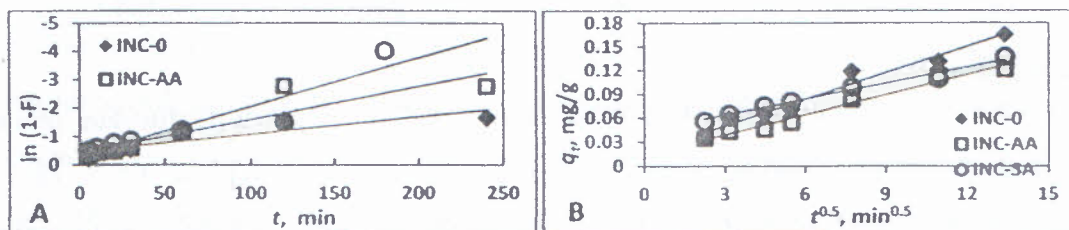
Mekanisme Adsorpsi

Dinamika adsorpsi adsorbat pada situs aktif bahan penjerap secara berturutan melalui tiga tahapan: (i) perpindahan molekul atau ion dari fasa cair melalui lapisan filem atau lapisan sempada (*boundary layer*) menuju permukaan luar bahan penjerap, (ii) difusi kation dari mulut pori adsorben menuju ke dalam pori adsorben atau di sekeliling situs aktif (difusi intra-partikel).

atau difusi pori) dan (iii) adsorpsi molekul atau ion pada permukaan interior pori dan ruang kapiler adsorben (Unuabonah et al. 2007)

Meskipun grafik dalam Gambar 3A tidak tepat pada titik nol dan $R^2 < 0.9$, tetapi dengan nilai intersep yang sangat kecil menunjukkan bahwa difusi film berperan di dalam proses pemindahan kation Ni(II) ke permukaan lempung Cengar. Fenomena difusi lapisan film juga dilaporkan oleh Gupta dan Bhattacharyya (2008) untuk adsorpsi Ni(II) pada kaolinit dan montmorilonit, begitu pula Debnath dan Gosh (2009) untuk adsorpsi Ni(II) ke atas hidrat Ti(IV) oksida nano-partikel (NHTO). Tetap difusi film k_f meningkat dengan modifikasi, yang menyatakan bahwa langkah modifikasi menambah efek difusi film pada adsorpsi kation Ni(II) ke atas lempung INC-AA dan INC-SA. Ini didukung oleh nilai intersep A yang mendekati titik nol akibat modifikasi. Dengan demikian adsorpsi kation Ni(II) pada lempung Cengar menurut mekanisme difusi film berturut-turut adalah: INC-SA > INC-AA > INC-O.

Dengan memperhatikan Gambar 3B, nilai R^2 0.96-0.98 (Tabel 2) dan nilai intersep yang sangat kecil dan mendekati nol ($C : 0.012- 0.044$), maka proses adsorpsi Ni(II) pada lempung Cengar mengikuti mekanisme difusi intra-partikel. Gupta dan Bhattacharyya (2008) melaporkan, adsorpsi Ni(II) pada kaolinit dan montmorilonit tidak mengikuti difusi intra-partikel, melainkan mengikuti difusi film. Tetapi adsorpsi Ni(II) pada Activated carbon of *Moringa oleifera* (ACMO) mengikuti model difusi intra-partikel (Kalavathy dan Miranda, 2010). Koefisien difusi intra-partikel k_i ternyata berkurang pada lempung modifikasi INC-AA dan INC-SA, artinya langkah modifikasi terhadap lempung dapat mengurangi efek difusi intra-partikel untuk adsorpsi kation Ni(II) pada lempung tersebut. Pengurangan efek difusi intra-partikel ini sesuai dengan perolehan nilai C yang semakin meningkat oleh langkah modifikasi. Dengan demikian adsorpsi kation Ni(II) pada lempung Cengar yang sesuai dengan mekanisme difusi intra-partikel berturut-turut adalah: INC-O > INC-AA > INC-SA.



Gambar 3. Grafik mekanisme adsorpsi kation Ni(II) oleh lempung Cengar, A. Model difusi film, B. Model difusi intra-partikel.

Tabel 2. Nilai tetapan model mekanisme difusi intra-partikel dan difusi film adsorpsi kation Ni(II) oleh lempung Cengar

Model	INC-O	INC-AA	INC-SA
Tetapan			
Difusi intra-partikel:			
$k_i \cdot 10^2 \text{ mg g}^{-1} \text{ min}^{-0.5}$	1.1	0.84	0.66
$C, \text{ mg g}^{-1}$	0.012	0.014	0.044
R^2	0.96	0.98	0.98
Difusi filem:			
$k_f \cdot 10^2 \text{ min}^{-1}$	0.6	1.17	1.72
A	-0.48	-0.42	-0.32
R^2	0.76	0.83	0.86

KESIMPULAN

Lempung Cengar dapat menyerap kation Ni(II) dalam larutan air dan kapasitas adsorpsinya menurun setelah tahap modifikasi. Adsorpsi kation Ni(II) pada lempung Cengar mengikut model isoterma Langmuir dan Dubinin-Raduskevich. Adsorpsi Ni(II) pada lempung alam Cengar INC-O sesuai dengan mekanisme difusi intra-partikel, sedangkan adsorpsi pada lempung yang dimodifikasi dengan sodium asetat INC-SA sesuai dengan mekanisme difusi filem.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkan, M. Demirbas, O. Celikcapan, S dan Dogan, M., (2004). Sorption of acid red 57 from aqueous solution onto sepiolite, *Journal of Hazardous Materials* B116, 135–145.
- Bhattacharyya, K.G dan Gupta, S.S., (2007). Adsorptive accumulation of Cd(II), Co(II), Cu(II), Pb(II), and Ni(II) from water on montmorillonite: Influence of acid activation, *Journal of Colloid and Interface Science* 310, 411–424.
- Cabuk, A. Akar, T. Tunali, S dan Tabak, O., (2006). Biosorption characteristics of *Bacillus* sp. ats-2 immobilized in silica gel for removal of Pb(II), *Journal of Hazardous Materials* B136, 317–323.
- Chen, W-J. Hsiao, L-C dan Chen, K.K-Y., (2008). Metal desorption from copper(II)/nickel(II)-spiked kaolin as a soil component using plant-derived saponin biosurfactant, *Process Biochemistry* 43, 488–498.



- da Fonseca, M.G. de Oliveira, M.M. Arakaki, L.N.H. Espinola, J.G.P dan Airoidi, C., (2005). Natural vermiculite as an exchanger support for heavy cations in aqueous solution, *Journal of Colloid and Interface Science* 285, 50-55.
- Debnath, S dan Ghosh, U.C., (2009). Nanostructured hydrous titanium(IV) oxide: Synthesis, characterization and Ni(II) adsorption behavior, *Chemical Engineering Journal* 152, 480-491.
- Eren, E. dan Afsin, B., (2008). An Investigation of Cu(II) Adsorption by Raw and Acid-Activated Bentonite: A Combined Potentiometric, Thermodynamic, XRD, IR, DTA Study, *Journal of Hazardous Materials* 151, 682-691.
- Gubbuk, I.H. Gup, R. Kara, H dan Ersoz, M., (2009). Adsorption of Cu(II) onto silica gel-immobilized schiff base derivative, *Desalination* 249, 1243-1248.
- Gupta, S. dan Babu, B.V., (2009). Removal of toxic metal Cr(VI) from aqueous solutions using sawdust as adsorbent: Equilibrium, kinetics and regeneration studies, *Chemical Engineering Journal* 150, 352-365.
- Gupta, S.S dan Bhattacharyya, K.G., (2008). Immobilization of Pb(II), Cd(II) and Ni(II) Ions on Kaolinite and Montmorillonite Surfaces from Aqueous Medium, *Journal of Environmental Management* 87, 46-58.
- Hasan, S.H. Srivastava, P dan Talat, M., (2009). Biosorption of Pb(II) from water using biomass of *aeromonas hydrophila*: central composite design for optimization of process variables, *Journal of Hazardous Materials* 168, 1155-1162.
- Kalavathy, M.H dan Miranda, L.R., (2010). *Moringa oleifera* - A solid phase extractant for the removal of copper, nickel and zinc from aqueous solutions, *Chemical Engineering Journal* 158, 188-199.
- Mane, V.S. Mall, I.D dan Srivasta, V.C., (2007). Kinetic and equilibrium isotherm studies for the adsorptive removal of brilliant green dye from aqueous solution by rice husk ash, *Journal of Environmental Management* 84, 390-400.
- Manohar, D.M. Noeline, B.F dan Anirudhan, T.S., (2006). Adsorption Performance of Al-pillared Bentonite Clay for the Removal of Cobalt(II) from Aqueous Phase, *Applied Clay Science* 31, 194-206.
- Mouta, E.R. Soares, M.R dan Casagrande, J.C., (2008). Copper Adsorption as a Function of Solution Parameters of Variable Charge Soils, *J. Braz. Chem. Soc* 19, 996-1009.
- Nadeem, R. Nasir, M.H dan Hanif, M.S., (2009). Pb (II) sorption by acidically modified *Cicer arietinum* biomass, *Chemical Engineering Journal* 150, 40-48.



- Naiya, T.K. Chowdhury, P. Bhattacharya, A.K dan Das, S.K., (2009). Sawdust and neem bark as low-cost natural biosorbent for adsorptive removal of Zn(II) and Cd(II) ions from aqueous solutions, *Chemical Engineering Journal* 148, 68–79.
- Sawalha, M.F. Peralta-Video, J.R. Romero-Gonzalez, J dan Gardea-Torresdey, J.L., (2006). Biosorption of Cd(II), Cr(III), and Cr(VI) by saltbush (*Atriplex canescens*) biomass: Thermodynamic and isotherm studies, *Journal of Colloid and Interface Science* 300, 100–104.
- Seki, Y. dan Yurdakoc, K., (2009). Equilibrium, kinetics and thermodynamic aspects of promethazine hydrochloride sorption by iron rich smectite, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 340, 143–148.
- Jnuabonah, E.I. Olu-Owolabi, B.I. Adebowale, K.O dan Ofomaja, A.E., (2007). Adsorption of lead and cadmium ions from aqueous solutions by tripolyphosphate-impregnated Kaolinite clay, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 292, 202–211.
- Wang, X-S. Huang, J. Hua, H-Q. Wang, J dan Qin, Y., (2007). Determination of kinetic and equilibrium parameters of the batch adsorption of Ni(II) from aqueous solutions by Namordenite, *Journal of Hazardous Materials* 142, 468–476.
- Fu, R. Wang, S. Wang, D. Ke, J. Xing, X. Kumada, N dan Kinomura, N., (2008). Removal of Cd²⁺ from Aqueous Solution with Carbon Modified Aluminum-Pillared Montmorillonite, *Catalysis Today* 139, 135-139.

