

ADSORPSI ION KADMIUM(II) DARI LARUTANNYA MENGUNAKAN BIOMASSA AKAR DAN BATANG KANGKUNG AIR (*Ipomoea aquatica* Forsk)

Adsorption of Cadmium(II) Ion from its Solution by Using Biomass of Roots and Stems' Water Spinach (*Ipomoea Aquatic* Forsk)

Iffatunniswah Suhud, Vanny M. A. Tiwow dan Baharuddin Hamzah

Pendidikan Kimia/FKIP - University of Tadulako, Palu - Indonesia 94118

Received 31 October 2012, Revised 05 November 2012, Accepted 9 November 2012

Abstract

The research has been conducted on the adsorption of cadmium(II) ion from its solution by using biomass roots and stems of water spinach (Ipomoea Aquatic Forsk). The aim of the research was to determine optimum pH and concentration of cadmium(II) metal adsorbed by biomass root and stems of water spinach. The method used in this study was laboratory experiments with 0.1 grams of roots and stems of water spinach powder as adsorbent and 25 mL of the cadmium(II) solution. The variation of pH was 1, 2.3, 4.5, 6.7, and 8, while the concentration was 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm, 500 ppm, 600 ppm, and 700 ppm. Determination of cadmium(II) ion adsorbed by the adsorbent has been performed using Atomic Adsorption Spectrophotometer (AAS). The measurement showed that the optimum pH of cadmium(II) ion adsorbed by the root of water spinach was at pH 4, and by the stems was at pH 3. While the optimum concentration of metal cadmium(II) solution adsorbed by the biomass of roots and stems of water spinach was 600 ppm, the same as the adsorption power of 91.862 mg/g for root and 91.118 mg/g for stems respectively.

Keywords: Adsorption, Water Spinach (*Ipomoea Aquatica* Forsk), Ion Cadmium(II)

Pendahuluan

Logam berat merupakan jenis pencemar yang sangat berbahaya dalam sistem lingkungan hidup karena bersifat tak dapat terbiodegradasi, toksik, serta mampu mengalami bioakumulasi dalam rantai makanan (Anis, S dan Gusrizal. 2006). Pencemaran logam berat terhadap lingkungan merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut dalam kegiatan manusia, dan secara sengaja maupun tidak sengaja membuang berbagai limbah yang mengandung logam berat ke lingkungan. Logam-logam tertentu dalam konsentrasi tinggi akan sangat berbahaya bila ditemukan di dalam lingkungan (air, tanah, dan udara). Salah satu contoh logam berat yang sangat berbahaya adalah logam Cd. Logam Cd mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Adapun dampak negatif logam Cd

dalam tubuh manusia yaitu dapat menghambat kerja paru-paru, bahkan mengakibatkan kanker paru-paru, mual, muntah, diare, kram, anemia, kerusakan ginjal dan hati (Palar. 2008).

Logam berat berbahaya karena dapat mengganggu kehidupan organisme di lingkungan jika keberadaannya melampaui ambang batas. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi ion logam dalam limbah cair diantaranya adalah adsorpsi, pengendapan, penukar ion dengan menggunakan resin, dan filtrasi. Diantara metode-metode tersebut, adsorpsi merupakan metode yang paling umum dipakai karena memiliki konsep yang lebih sederhana dan ekonomis.

Teknik adsorpsi terhadap logam berat telah banyak dilakukan dengan menggunakan berbagai macam adsorben, yakni pemanfaatan limbah sagu untuk menghilangkan limbah tembaga(II) (Maheswari, et al., 2008), penghilangan ion merkuri dari larutan menggunakan lapisan serbuk gergaji oleh polianilin (Ansari and Rofie, 2006), penghilangan ion arsen dari larutan

* Korespondensi:

I. Suhud

Program Studi Pendidikan kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Tadulako
email: iffa_green08@ymail.com

© 2012 - Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Tadulako

menggunakan karbon aktif (Ansari and Sedegh, 2007), penghilangan ion timbale(II) oleh abu tanaman bambu dan karbon aktif (Kannan and Veemaraj, 2009), biosorpsi kromium(VI) pada serat sabut kelapa hijau (I Wayan, S dan Dwi, A. Y, 2010), dan biosorpsi ion logam Pb(II), Cu(II) dan Cd(II) oleh biomassa *sargassum duplicatum* dengan matrik silika gel (Buhani, dkk. 2006).

Selain menggunakan berbagai jenis adsorben di atas, metode adsorpsi juga dapat dilakukan dengan menggunakan tumbuhan sebagai penyerap logam berat, baik yang berasal dari air maupun tanah. Contohnya adalah pemanfaatan rumput alang-alang sebagai biosorben Cr(VI) (Rahmi, H dkk, 2009) adsorpsi merkuri(II) pada biomassa daun eceng gondok (M. Chalid Al-ayub, dkk. 2010) dan adsorpsi ion Pb(II) dalam air dengan jerami padi (Yanuar R,M, dkk. 2009).

Salah satu jenis tanaman lain yang dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam berat adalah kangkung air. Kangkung air tumbuh dimana-mana selain untuk konsumsi masyarakat, tanaman ini dapat dijumpai di selokan-selokan atau di rawa-rawa sebagai gulma air. Selain itu kangkung air juga memiliki harga yang sangat murah, mudah didapatkan dan mempunyai pertumbuhan yang relatif cepat. Sebagian besar masyarakat hanya mengetahui tanaman kangkung air sebagai jenis sayur-sayuran dan ditanam sebagai makanan. Padahal selain sebagai bahan pangan kangkung air juga merupakan tanaman yang mampu menyerap logam berat di perairan (Marianto, 2009).

Tanaman kangkung air termasuk salah satu tanaman yang mudah menyerap logam berat dari media tumbuhnya. Beberapa penelitian lain juga membuktikan bahwa tanaman kangkung air tersebut dapat menyerap logam berat seperti Pb dan Cr(VI), karena pada kangkung air terdapat kandungan protein dan karbohidrat. Hal tersebut menyebabkan kangkung air berpotensi sebagai biomassa. Biomassa merupakan bahan yang berasal dari zat-zat organik yang dapat diperbaharui dan dari makhluk hidup baik hewan maupun tumbuhan (Kartohardjono dkk, 2008). Biomassa dapat mengadsorpsi ion logam disebabkan adanya kandungan protein dan selulosanya. Gugus yang berperan dalam protein adalah asam amino dan dalam selulosa adalah hidroksil. Kedua gugus tersebut dapat berperan sebagai penukar ion dan sebagai adsorben terhadap logam berat dalam air limbah (Ni'mah dkk, 2007). Protein tersusun dari beberapa asam amino yang apabila larut dalam air gugus karboksilat (COOH) akan

melepaskan ion H^+ dan gugus amina (NH_2) akan menerima ion H^+ membentuk NH_3^+ . Ion tersebut sangat reaktif untuk berikatan dengan ion-ion logam. Sedangkan karbohidratnya yaitu selulosa memiliki gugus fungsional yaitu gugus hidroksil(-OH). Gugus ini dapat berinteraksi dengan gugus lain yaitu -O, -N, dan -S membentuk ikatan hidrogen atau ikatan koordinasi. Ikatan yang terjadi antara ion logam dengan selulosa dapat terjadi melalui ikatan hidrogen dan gaya Van der Waals. Hal inilah yang menyebabkan tanaman kangkung air dapat dimanfaatkan sebagai bioadsorben logam berat (Poedjiadi, 2007).

Berdasarkan data dan penjelasan tersebut di atas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang adsorpsi logam kadmium(II) dari larutannya menggunakan biomassa akar dan batang kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*).

Metode

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu Spektrofotometri Serapan Atom (SSA), gelas kimia, gelas ukur, erlenmeyer, labu ukur, pipet tetes, pipet ukur, kertas saring whatman 42, botol semprot, aluminium foil, alat shaker, pH meter, belender, gunting, spatula, desikator, cawan penguap, oven, neraca, dan ayakan 250 μm .

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu akar dan batang kangkung air, Larutan Cd(II), aquades, larutan HNO_3 dan NH_4OH .

Pengolahan sampel sebagai adsorben

Akar dan batang kangkung air yang telah dipotong-potong halus, diangin-anginkan selama 5 hari pada tempat yang tidak terkena sinar matahari langsung, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu $70^\circ C$ selama 2 jam. Setelah kering, sampel akar dan batang tersebut dihaluskan dengan belender dan diayak sehingga diperoleh serbuk yang lebih halus. kemudian serbuk yang masih kasar dihaluskan dan diayak kembali.

Pembuatan larutan kurva standar

Mengambil sejumlah volume tertentu dari larutan induk Cd 1000 ppm dan mengencerkan dengan aquades secara bertahap yaitu dari 1000 ppm diencerkan menjadi 500 ppm, 100 ppm dan 10 ppm, dan kemudian membuat deret larutan standar Cd dari larutan Cd 10 ppm

yang diencerkan menjadi 5 variasi yaitu 0 ppm, 0,5 ppm, 1,0 ppm, 1,5 ppm, dan 2,0 ppm. Setelah itu Mengukur serapan dari masing-masing larutan standar di atas pada panjang gelombang 228,28 nm.

Penentuan pH optimum larutan logam Cd(II) yang teradsorpsi oleh biomassa akar dan batang kangkung air. Memasukkan 25 ml larutan Cd 100 ppm ke dalam erlenmeyer 100 ml. Kemudian masing-masing diatur pada pH bervariasi yaitu 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8. Setelah itu memasukkan 0,1 g serbuk sampel ke dalam masing-masing erlenmeyer tersebut dan ditutup dengan aluminium foil lalu di shaker selama 1 jam. Setelah itu disaring dengan kertas saring Whatman 42, filtrat yang diperoleh diukur serapannya dengan menggunakan SSA pada panjang gelombang 228,28 nm. Perbedaan konsentrasi logam Cd mula-mula atau sebelum dan sesudah perlakuan merupakan jumlah ion logam Cd yang terserap oleh adsorben.

Penentuan konsentrasi optimum larutan logam Cd(II) yang teradsorpsi oleh biomassa akar dan batang kangkung air.

Memasukkan 25 mL larutan Cd ke dalam erlenmeyer 100 mL, dengan konsentrasi yang berbeda-beda yaitu 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm dan 500 ppm, 600 ppm, dan 700 ppm diatur pada pH optimum. Kemudian memasukkan 0,1 g serbuk sampel ke dalam masing-masing erlenmeyer tersebut dan ditutup dengan aluminium foil lalu di shaker selama 1 jam. Setelah itu disaring dengan kertas saring whatman 42, filtrat yang diperoleh diukur serapannya dengan menggunakan SSA pada panjang gelombang 228,28 nm. Perbedaan konsentrasi logam Cd mula-mula atau sebelum dan sesudah perlakuan merupakan jumlah ion logam Cd yang terserap oleh adsorben.

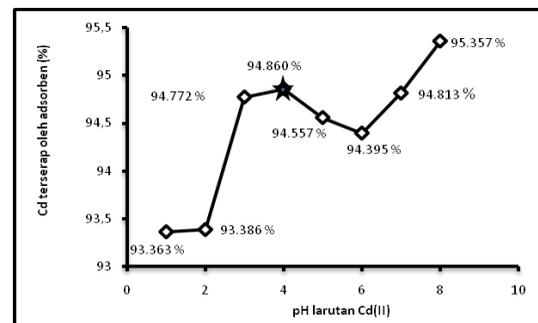
Hasil dan Pembahasan

Biomassa akar dan batang kangkung air yang dijadikan sebagai adsorben dipotong-potong halus, kemudian diangin-anginkan selama 5 hari dan diovenkan pada suhu 70 °C selama 3 jam sampai diperoleh berat konstan. Setelah itu dihaluskan dan diayak dengan menggunakan ayakan 250 µm, dengan tujuan agar diperoleh ukuran partikel adsorben yang lebih halus atau yang memiliki luas permukaan yang optimal. Hal ini sesuai dengan pernyataan Oscik dan Cooper (1982) yang menyatakan bahwa efisiensi adsorpsi merupakan fungsi luas permukaan adsorben. Semakin besar luas permukaan adsorben semakin besar pula kapasitas suatu adsorben dalam mengadsorpsi

suatu adsorbat.

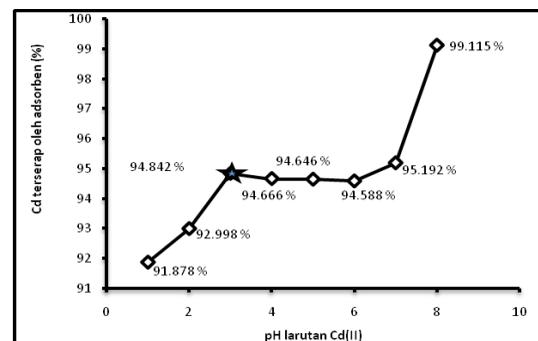
Derajat keasaman (pH) merupakan faktor yang sangat mempengaruhi proses adsorpsi ion logam dalam larutan, karena keberadaan ion H⁺ dalam larutan akan berkompetisi dengan kation untuk berikatan dengan situs aktif (Nurhidayati, dkk. 2009). Penentuan pH optimum pada adsorpsi Cd(II) menggunakan adsorben akar dan batang kangkung air dilakukan pada variasi pH 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8. Berdasarkan penelitian didapatkan bahwa hubungan antara pH larutan terhadap persentase Cd(II) yang teradsorpsi dapat dilihat pada Gambar 1.

a. Biomassa Akar Kangkung Air



Gambar 1. Pengaruh pH awal larutan terhadap serapan ion Cd(II) oleh biomassa akar kangkung air

b. Biomassa Batang Kangkung Air



Gambar 2. Pengaruh pH awal larutan terhadap serapan ion Cd(II) oleh biomassa batang kangkung air, optimum pada pH 3

Berdasarkan Gambar 1 dan 2 tampak bahwa serapan Cd(II) oleh akar dan batang kangkung air dipengaruhi oleh pH larutan. Penentuan pH optimum dilakukan untuk mengetahui pH interaksi dimana adsorben menyerap adsorbat

secara maksimum. Pada akar, proses adsorpsi meningkat seiring dengan perubahan pH ke arah 4, sedangkan pada pH 5 – 8 peningkatan serapan tidak terlalu besar, bahkan menurun pada pH 5 – 6 yang disebabkan karena larutan Cd(II) mengalami hidrolisis menjadi CdOH^+ , dan kemudian naik lagi pada pH 7 – 8 yang disebabkan karena larutan Cd(II) mulai mengalami pengendapan. Jadi dapat dikatakan bahwa pH 4 merupakan pH optimum pada akar. Sedangkan pada batang, proses adsorpsi meningkat seiring dengan perubahan pH ke arah 3, dan pada pH 4 – 8 peningkatan serapan juga tidak terlalu besar, turun pada pH 4 – 6 yang juga disebabkan karena larutan Cd(II) mengalami hidrolisis menjadi CdOH^+ , dan naik lagi pada pH 7 – 8 yang juga disebabkan karena larutan Cd(II) mulai mengalami pengendapan. Jadi dapat dikatakan bahwa pH 3 merupakan pH optimum pada batang.

Tinggi dan rendahnya serapan ion Cd(II) sangat bergantung pada pH larutan. Hal ini dapat dijelaskan karena adanya gugus fungsi yang terdapat pada biomassa kangkung air tersebut yaitu protein dan selulosa. Protein tersusun dari berbagai asam amino, sedangkan selulosa tersusun dari molekul-molekul glukosa, asam amino dan glukosa ini dapat mengalami perubahan muatan yang disebabkan karena perubahan pH larutan.

Rendahnya serapan ion Cd(II) pada pH yang lebih asam diakibatkan karena asam amino terprotonasi, dimana atom H^+ dari gugus karboksil akan berikatan dengan gugus amino membentuk NH_3^+ , sedangkan pada selulosa, dengan bertambahnya ion H^+ , maka ion H^+ tersebut akan berikatan dengan gugus hidroksil pada selulosa membentuk $\text{OH}_2^+(\text{-CH}_2\text{OH}_2^+)$.

Pada pH rendah, dalam larutan konsentrasi ion H^+ lebih banyak sehingga akan terjadi kompetisi dengan ion-ion logam Cd(II) untuk berikatan dengan atom N dari gugus amino dan atom O dari gugus hidroksil selulosa yang merupakan tempat utama ikatan logam dengan biomassa. Terbentuknya gugus NH_3^+ , dan gugus OH_2^+ sehingga terjadi gaya tolak antar sisi aktif dari asam amino dan selulosa yang bermuatan positif dengan ion Cd(II) yang juga bermuatan positif (Akaninwor dkk., 2007). Sedangkan peningkatan serapan Cd(II) pada pH yang lebih tinggi atau pada pH optimum dapat disebabkan karena sisi aktif dari penyusun protein dan selulosa dalam biomassa kangkung tersebut muatannya cenderung berubah menjadi negatif, karena dalam larutan terjadi kesetimbangan jumlah konsentrasi ion H^+ dengan konsentrasi ion OH^- , sehingga ion

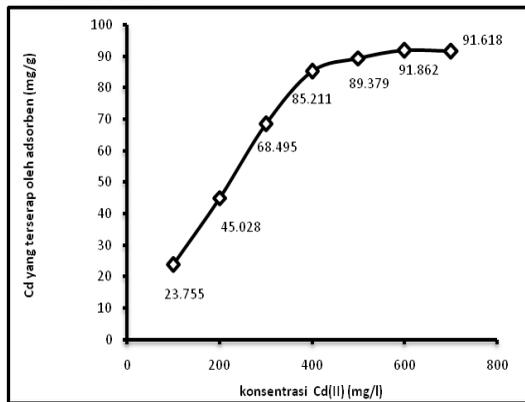
logam dapat berikatan dengan gugus-gugus aktif yang ada dalam biomassa kangkung air dengan membentuk senyawa kelat. Untuk berikatan, Ion logam akan menggantikan kedudukan atom H pada gugus hidroksil selulosa dan gugus karboksil serta gugus amina pada protein membentuk ikatan koordinasi sehingga interaksi yang efektif dengan ion Cd(II) yang bermuatan positif dapat terjadi, sehingga terjadi penyerapan secara maksimal.

Kondisi pH yang lebih besar (suasana basa) dari pH optimum yaitu kadmium(II) yang terserap cenderung berkurang. Penurunan serapan tersebut disebabkan karena pada pH yang agak tinggi kadmium mengalami hidrolisis menjadi CdOH^+ , dengan terhidrolisisnya kadmium maka muatan positifnya berkurang menjadi +1 sehingga interaksinya dengan permukaan adsorben berkurang. Sedangkan pada pH 7 dan pH 8, adsorpsi kadmium(II) mulai meningkat. Hal ini dapat disebabkan karena di dalam larutan banyak mengandung ion-ion OH^- , sehingga ion logam kadmium(II) akan cenderung berikatan dengan ion OH^- , membentuk kadmium hidroksida ($\text{Cd}(\text{OH})_2$) yang mengendap (Widihati, dkk. 2010). Pengendapan ini akan mempengaruhi interaksi adsorben dengan ion kadmium(II) dalam larutan, dimana semakin banyak ion kadmium(II) yang lebih dulu mengendap maka ion kadmium(II) dalam larutan semakin berkurang, atau dengan kata lain akibat terlampauinya harga $K_{sp} \text{Cd}(\text{OH})_2$ dalam larutan sehingga sebagian logam tidak dapat teradsorpsi ($K_{sp} \text{Cd}(\text{OH})_2$ yaitu sebesar $5,9 \times 10^{-15}$) (Sriyanti dkk., 2005), dengan berkurangnya ion kadmium(II) tersebut di dalam larutan, maka serapan yang terukur akan meningkat.

Hasil penentuan konsentrasi optimum larutan logam Cd(II) yang teradsorpsi oleh biomassa akar dan batang kangkung air.

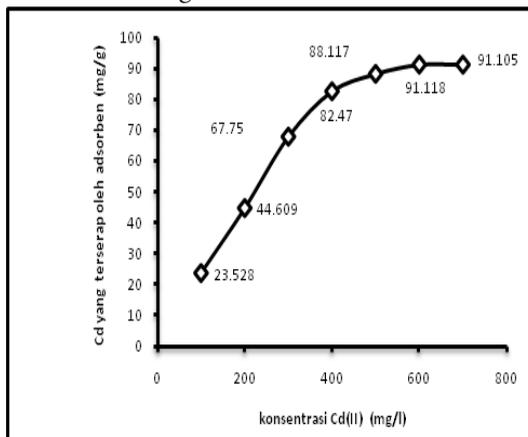
Penentuan konsentrasi optimum larutan Cd(II) yang teradsorpsi oleh biomassa akar dan batang kangkung air dilakukan pada variasi konsentrasi yaitu 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm 500 ppm, 600 ppm dan 700 ppm. Adsorpsi Cd(II) dilakukan pada pH optimum. Untuk akar kangkung air dilakukan pada pH 4 sedangkan untuk batang kangkung air dilakukan pada pH 3. Berdasarkan penelitian didapatkan bahwa data hasil analisa variasi konsentrasi Cd(II) terhadap banyaknya Cd(II) yang teradsorpsi dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4

a. Untuk Akar



Gambar 3. Hubungan serapan Cd(II) oleh adsorben akar dengan konsentrasi larutan Cd(II) pada saat kesetimbangan.

b. Untuk Batang



Gambar 4. Hubungan serapan Cd(II) oleh adsorben batang dengan konsentrasi larutan Cd(II) pada saat kesetimbangan.

Berdasarkan Gambar 3 dan 4 tampak bahwa konsentrasi larutan juga mempengaruhi serapan Cd(II) dari larutannya baik menggunakan biomassa akar maupun biomassa batang kangkung air. Semakin besar konsentrasi awal larutan, serapan Cd(II) semakin bertambah sampai batas konsentrasi tertentu. Peningkatan serapan Cd(II) oleh ke dua adsorben tersebut relatif tajam pada konsentrasi larutan sampel 100 ppm hingga 600 ppm, dengan serapan masing – masing, pada akar 23,755 mg/g hingga 91,862 mg/g, dan pada batang 23,528 mg/g hingga 91,118 mg/g. Selanjutnya penambahan konsentrasi Cd(II) relatif tidak menaikkan serapan, bahkan sedikit menurun, hal ini dapat terlihat pada konsentrasi 700 ppm dengan serapan masing – masing pada akar 91,618 mg/g dan batang

91,105 mg/g. Sedikit menurunnya serapan tersebut dapat menunjukkan bahwa kinerja senyawa-senyawa atau gugus penyerap logam Cd(II) pada adsorben sudah mulai menurun, karena permukaan adsorben telah berada dalam keadaan jenuh oleh ion – ion logam Cd(II) yang semakin pekat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Macankic (Nurdin, 1998) jika sisi aktif yang terdapat pada permukaan dinding penyerap telah jenuh dengan ion logam maka tidak lagi meningkatkan penyerapan ion logam. Jadi dapat dikatakan bahwa konsentrasi optimum larutan logam Cd(II) yang terserap oleh adsorben akar dan batang kangkung air adalah sama yaitu pada konsentrasi 600 ppm dengan serapan masing-masing pada akar 91,862 mg/g, dan pada batang 91,118 mg/g.

Kesimpulan

pH optimum larutan logam Cd(II) yang teradsorpsi oleh akar kangkung air adalah pH 4 dengan daya adsorpsi sebesar 94.860%, dan pada batang kangkung air adalah pH 3 dengan daya adsorpsi sebesar 94.842 %. Sedangkan konsentrasi optimum larutan logam Cd(II) yang teradsorpsi oleh biomassa akar dan batang kangkung air adalah sama yaitu 600 ppm, dengan daya adsorpsi pada akar 91,862 mg/g, dan pada batang 91,118 mg/g.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

Referensi

- Akaninwor, J. O., Wegwo, M. O., & Iba, I. U. (2007). Removal of iron, zinc and magnesium from polluted water samples using thioglycolic modified oil-palm fibre. *African Journal of Biochemistry Research*, 1(2), 11-13.
- Anis, S., & Gusrizal. (2006). Pengaruh pH dan penentuan kapasitas adsorpsi logam berat pada biomassa eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Indo. J. Chem.*, 6(1), 56–60.
- Ansari, R., & Raofie, F. (2006). Removal of mercuric ion aqueous solution using sawdust coated by polyaniline. *E-Journal of Chemistry*, 3, 35–43.
- Ansari, R., & Sadegh, M. (2007). Application

- of activated carbon for removal of arsenic ions from aqueous solutions. *E-Journal of Chemistry*, 4, 103–108.
- Buhani, S., & Zipora, S. (2006). Biosorpsi ion logam Pb(II), Cu(II) dan Cd(II) pada biomassa sargassum duplicatum dengan matrik silika gel. *Indo. J. Chem.* 6(3), 245–250.
- I Wayan, S., & Dwi, A. Y. (2010). Biosorpsi kromium(VI) pada serat sabut kelapa hijau (cocos nucifera). *Jurnal Kimia*, 4(2), 158-166.
- Kannan, N., & Veemaraj, T. (2009). Removal of lead(II) ions by adsorption onto bamboo dust and commercial activated carbons-A comparative study. *E-Journal of Chemistry*, 6, 247–256.
- Kartohardjono, S., Ali, L. & Manik, G. P. (2008). Pemanfaatan kulit batang jambu biji (psidium guajava) untuk adsorpsi Cr(VI) dari larutan. *Jurnal Kimia Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia*.
- Marianto, L. A. (2009). Tanaman Air. <http://www.plantamor.com/index.php?plant=710>. Diakses tanggal 10 Februari 2012.
- Maheswari, P., Venilamani, N., Madhavakrishnan, S., Syed Shabudeen, P. S., Venckatesh, R., & Pattabhi, S. (2008). Utilization of sago waste as an adsorbent for the removal of Cu(II) ion from aqueous solution. *E-Journal of Chemistry*, 5, 233–242.
- Al-ayub, M. C., Himmatul, B., & Diana, C. D. (2010). Studi kesetimbangan adsorpsi merkuri(II) pada biomassa daun eceng gondok (eichhornia crassipes). *ALCHEMY*, 1(2), 53–103.
- Ni'mah, Y. L., & Ita, U. (2007). Penurunan kadar tembaga dalam larutan dengan menggunakan biomassa bulu ayam. *Jurnal Kimia*, 2(1), 57–66.
- Nurhidayati, P., Megayulia, N., Arini, P., & Noer, K. (2009). Kajian Biosorpsi Al(III) dalam larutan oleh biomassa batang pisang (musa paradisiaca) yang terimmobilkan pada abu layang batubara. *Sains dan Terapan Kimia*. 2(1), 73–84.
- Nurdin. (1998). *Biosorpsi Seng(II) dan kromium oleh biomassa aspergillus nigel*. Tesis S2. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Oscik, J., & Cooper, L. (1982). *Adsorption*. Ellis Horwood Limited John Wiley and Sons. New York.
- Palar, H. (2008). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Poedjiadi, A. (2007). *Dasar-dasar Biokimia*. Jakarta: UI-Press.
- Rahmi, H., Ina, R., Awin, F., & Noer, K. (2009). Pemanfaatan rumput alang-alang (imperata cylindrica) sebagai biosorben Cr(VI) pada limbah industri sasirangan dengan metode teh celup. *Sains dan Terapan Kimia*, 2(1), 57–73.
- Sriyanti, C. A., & Taslimah. (2005). Adsorpsi kadmium(II) pada bahan hibrida tiol-silika dari abu sekam padi. *JSKA*, 8. (2).
- Widihati, I. A. G., Oka, R., & Yunita, A. (2010). Karakterisasi keasaman dan luas permukaan tempurung kelapa hijau (cocos nucifera) dan pemanfaatannya sebagai biosorben ion Cd²⁺. *Jurnal Kimia* 4(1), 7-14.
- Yanuar, H, M., Dharma, S., & Vieter, J. M. (2009). Adsorpsi ion Pb(II) dalam air dengan jerami padi. *Percikan*, 100 , 67-74.