

TERMODINAMIKA ADSORPSI Ca(II) DAN Cd(II) PADA ADSORBEN AMPAS TAHU

ADSORPTION THERMODYNAMICS OF Ca(II) AND Cd(II) ON TOFU WASTE ADSORBENT

Hermania Em Wogo*, Luther Kadang, Magdalena A. Mir

*Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto Penfui, Kupang, NTT
Corresponding author: hermania_wogo@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui kemampuan ampas tahu sebagai adsorben dalam mengadsorpsi Ca(II) dan Cd(II) baik secara tunggal maupun simultan. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu preparasi adsorben, karakterisasi adsorben yang meliputi penentuan kadar air, gugus fungsi, keasaman permukaan, dan luas permukaan, serta penentuan kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi kedua jenis logam tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air adsorben (6,802%), gugus fungsi yang berperan dalam proses adsorpsi (-NH, -OH, dan C=O), keasaman permukaan (7 $\mu\text{mol/g}$) dan luas permukaan (7,843 m^2/g). Adapun kapasitas adsorpsi Ca(II) lebih besar dari Cd(II) baik tunggal maupun simultan dimana nilai kapasitas adsorpsi Ca(II) tunggal (2.857,143 $\mu\text{mol/g}$), Ca(II) simultan (2.272,727 $\mu\text{mol/g}$), Cd(II) tunggal (806,452 $\mu\text{mol/g}$), Cd(II) simultan (769,231 $\mu\text{mol/g}$). Namun energi adsorpsi Cd(II) lebih besar dari Ca(II) baik tunggal maupun simultan, dimana nilai energi adsorpsi Cd(II) tunggal (20,995 kJ/mol), Cd(II) simultan (21,439 kJ/mol), Ca(II) tunggal (13,577 kJ/mol) dan Ca(II) simultan (13,761) yang sejalan dengan konsep asam basa keras lunak.

Kata kunci: adsorpsi, ampas tahu, tunggal, simultan

Abstract

A research to determine the ability of tofu waste to absorb Ca(II) and Cd(II) either individually or simultaneously has been done. The research was conducted in several stages which were the preparation of adsorbent, characterization of adsorbent including determinations of moisture content, functional groups, surface acidity, surface area and adsorption capacity over Ca and Cd metals. The research showed that the moisture content of adsorbent was 6,802%, the adsorbing functional groups were -NH, -OH, and C=O, the surface acidity of adsorbent was 7 $\mu\text{mol/g}$, and the surface area 7,843 m^2/g . The adsorption capacity over Ca(II) was greater than that over Cd(II) either individually or simultaneously. The adsorption capacities of a individual adsorption over Ca(II) and Cd(II) were 806,452 $\mu\text{mol/g}$ and 2.857,143 $\mu\text{mol/g}$ respectively, while the capacities of simultaneous adsorption were 2.272,727 $\mu\text{mol/g}$ and 769,231 $\mu\text{mol/g}$ respectively. However, the adsorption energies of Cd(II) were greater than that of Ca(II) both in individual and simultaneous adsorptions, which were Ca(II) 20,995 kJ/mol, 21,439 kJ/mol for Cd (II) and 13,577 kJ/mol; 13,761 kJ/mol for Ca(II) respectively. The adsorption energies data was coherent with hard and soft acid base concept.

Keywords: adsorption, tofu waste, individual, simultaneous

PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya teknologi maka pemanfaatan logam semakin meningkat, diantaranya logam kadmium yang sering digunakan dalam industri pelapisan logam, sebagai bahan baku pembuatan baterai dan bentuk garam Cd banyak digunakan dalam industri porselen, keramik, dan campuran perak. Kadmium merupakan logam berat yang memiliki sifat sukar terurai sehingga cukup lama berada dalam tubuh organisme hidup yaitu sekitar 10-30 tahun serta berbahaya karena memiliki tingkat toksisitas yang tinggi dan membahayakan kehidupan manusia dan lingkungan sekitarnya (Patrick, 2003).

Dalam pemanfaatannya bahan yang mengandung kadmium harus ditangani secara khusus sebelum dibuang ke lingkungan karena tidak menutup kemungkinan kadarkadmium yang terkandung di dalam bahan tersebut masih sangat tinggi. Namun berdasarkan fakta yang diperoleh hal ini sering diabaikan dimana bahan yang mengandung kadmium langsung dibuang ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan sehingga kadmium dapat masuk ke badan air yang mengakibatkan pencemaran air.

Kasus pencemaran air tersebut semakin kompleks karena selain logam berat yang masuk ke dalam badan air juga kondisi air di Kota Kupang (Propinsi Nusa Tenggara Timur) yang mengandung

logam penyebab kesadahan yang tinggi seperti Ca dan Mg dimana logam-logam tersebut dapat berada dalam lingkungan perairan secara bersama-sama. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasi masalah pencemaran air, diantaranya elektrodialisis, resin penukar ion, fitoremediasi, dan teknologi membran (Volesky dan Naja, 2005). Namun metode yang dikembangkan ini relatif mahal, kurang efektif, membutuhkan banyak reagen dan energi, serta masalah baru berupa akumulasi senyawa hasil pengolahan dalam sedimen organisme akuatik (Alluri dkk (2007), Ahluwia dan Goyal (2007)).

Adsorpsi merupakan metode alternatif yang tepat untuk menangani masalah pencemaran air karena prosesnya mudah, efektif, dan relatif murah. Adsorben yang dapat digunakan untuk mengikat ion logam harus memiliki gugus aktif diantaranya adalah gugus karboksil, hidroksil, sulfhidril, dan amina. Ampas tahu dapat digunakan sebagai adsorben karena murah dan mudah diperoleh dan juga mengandung protein yang hampir sama dengan tahu walaupun telah banyak mengalami perubahan karena perlakuan tertentu selama proses pembuatan tahu, seperti pemanasan. Pada dasarnya protein yang terkandung dalam ampas tahu tersusun oleh asam-asam amino yang memiliki kemampuan untuk membentuk zwitter ion (bermuatan dua) yang memiliki sisi-sisi (gugus) aktif yang mampu mengikat ion-ion logam

ataupun ion-ion lain. Logam-logam berbahaya seperti kadmium, timbal, merkuri, krom dan arsen yang bersifat toksik dapat terikat oleh protein sebagai metalotionin (Darmono, 1995).

Pemanfaatan ampas tahu sebagai adsorben logam telah dilakukan oleh Herlina (2003) dalam Nohong (2010) yang melakukan adsorpsi logam timbal dan diperoleh bahwa setiap gram ampas tahu kering mampu mengadsorpsi maksimum 29,85 mg ion Pb. Sedangkan Nohong (2010) telah melakukan penelitian tentang pemanfaatan ampas tahu sebagai penyerap logam krom, kadmium dan besi dalam air lindi TPA dengan variasi berat dan waktu kontak pengadsorpsi sehingga diperoleh bahwa dari ketiga logam tersebut hanya kadmium yang tidak dipengaruhi waktu kontak dan berat adsorben.

Berdasarkan uraian di atas, telah dilakukan penelitian untuk mengetahui kemampuan adsorpsi ampas tahu terhadap Ca(II) dan Cd(II) baik secara tunggal maupun simultan, sekaligus menentukan jenis interaksi kedua logam terhadap adsorbennya melalui penentuan energi adsorpsi..

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan beberapa bahan antara lain: ampas tahu dari industri tahu Bintang di Kelurahan Oesapa, Kota Kupang, $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Ajax Chemical), CaCl_2 (Merck), HCl (Merck), NaOH (Merck), metilen biru (Merck),

akuades, dan indikator pp (Merck). Peralatan yang digunakan adalah alat gelas, ayakan 60 mesh, oven, neraca analitik, pengaduk magnet, alat sentrifugasi, pH meter, spektrofotometer UV-Vis, FTIR dan AAS.

Preparasi Adsorben

Ampas tahu yang diambil dari industri tahu dikeringkan dalam ruangan. Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 14 jam. Selanjutnya digerus dan diayak dengan ayakan 60 mesh (Nohong, 2010).

Karakterisasi Adsorben

a. Penentuan kadar air

Sebanyak 2,0 gram adsorben dipanaskan pada suhu 110°C selama 2 jam, didinginkan dan ditimbang sampai diperoleh berat konstan.

kadar air

$$= \frac{\text{berat adsorben (sebelum - sesudah) pemanasan}}{\text{berat adsorben sebelum pemanasan}} \times 100 \%$$

b. Penentuan gugus fungsi

Penentuan gugus fungsi yang terdapat dalam adsorben dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer FTIR.

c. Penentuan keasaman permukaan

Keasaman permukaan ditentukan melalui metode titrimetri. Sebanyak 0,5 gram adsorben dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL kemudian ditambahkan 15 mL NaOH 0,1 M. Selanjutnya erlenmeyer ditutup rapat dan diaduk selama 15 menit serta ditambah 4 tetes indikator pp sampai berwarna merah muda. Campuran dititrasi dengan larutan HCl 0,1 M sampai terjadi perubahan

warna. Perlakuan yang serupa juga dilakukan terhadap blanko yang hanya mengandung 15 mL NaOH 0,1M. Keasaman permukaan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$K_{a1} \left(\frac{\text{mmol}}{\text{gram}} \right) = \frac{(\text{mmol NaOH awal} - \text{mmol NaOH bebas})}{B}$$

dimana K_{a1} adalah keasaman permukaan dan B adalah berat sampel.

d. Penentuan luas permukaan

Penentuan luas permukaan dilakukan dengan metode metilen biru yang diawali dengan penentuan panjang gelombang maksimum pada daerah 600-700 nm, pembuatan kurva standar metilen biru, penentuan waktu kontak optimum yang dilanjutkan dengan penentuan luas permukaan adsorben.

Penentuan Kapasitas dan Energi Adsorpsi

Adsorben sebanyak 0,1 gram dimasukkan dalam wadah plastik kemudian ditambah dengan 50 mL larutan CaCl_2 dengan variasi konsentrasi 0, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 300, 500 dan 1000 mg/L. Larutan *distirer* selama 1 jam, kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 2000 rpm selama 30 menit untuk memisahkan filtrat dan adsorben. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan AAS untuk menentukan jumlah ion logam yang teradsorpsi. Perlakuan yang sama juga dilakukan terhadap larutan Cd^{2+} dan larutan simultan Ca^{2+} dan Cd^{2+} . Kapasitas adsorpsi dihitung dengan menggunakan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir

dan energi adsorpsi dihitung menggunakan persamaan energi bebas Gibbs dalam keadaan standar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adsorben dikeringkan pada suhu 60°C selama 14 jam dengan tujuan agar tidak merusak struktur protein ampas tahu. Selanjutnya adsorben yang digunakan diayak menggunakan ayakan berukuran 60 mesh untuk menghomogenkan ukuran serbuk ampas tahu.

Karakterisasi Adsorben

a. Penentuan kadar air

Penentuan kadar air dilakukan secara gravimetri dengan cara mengeringkan bahan dalam oven pada suhu $105\text{-}110^\circ\text{C}$ sampai diperoleh berat konstan (Winarno, 1995). Pada umumnya, kadar air suatu bahan yang akan digunakan sebagai adsorben maksimum sebesar 10%, jika kadar air ampas tahu semakin banyak maka kemampuan adsorben untuk menyerap adsorbat akan semakin kecil karena molekul-molekul air menutup pori-pori adsorben. Berdasarkan hasil yang diperoleh, kadar air ampas tahu 6,802%. Hal ini menunjukkan bahwa ampas tahu mempunyai kemampuan sebagai adsorben.

b. Gugus fungsi

Identifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer FTIR (Gambar 1). Hasil identifikasigugus fungsi

pada adsorben menunjukkan adanya vibrasi ulur gugus O-H karboksilat $3448,72 \text{ cm}^{-1}$ yang didukung oleh adsorpsi pada $1064,71 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan C-O karboksilat. Gugus N-H ditunjukkan pada bilangan gelombang $3749,62 \text{ cm}^{-1}$ yang didukung oleh vibrasi tekuk N-H pada daerah $617,22 \text{ cm}^{-1}$. Serapan pada daerah $2931,80 \text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan C-H. sedangkan serapan pada daerah $1635,64 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur C=O peptida. Serapan pada daerah $1319,31 \text{ cm}^{-1}$ juga diidentifikasi sebagai vibrasi tekuk -OH asam karboksilat (Silverstein dkk.,1991). Vibrasi dari gugus aktif -SH yang diharapkan ternyata tidak teramati. Hal ini didukung oleh pernyataan William dan Fleming (1989) bahwa gugus -SH menghasilkan pita serapan yang lemah.

c. Keasaman permukaan

Penentuan keasaman permukaan adsorben bertujuan untuk mengetahui jumlah mmol situs asam total (asam Brønsted dan asam Lewis) yang terikat pada adsorben tiap gramnya. Penentuan keasaman permukaan dilakukan dengan metode titrimetri (titrasi asam-basa), dimana situs asam pada adsorben direaksikan dengan basa (NaOH) berlebih, sisa OH yang tidak bereaksi dengan situs asam ampas tahu direaksikan dengan HCl sehingga jumlah zat-zat yang bereaksi ekuivalen satu sama lainnya.

Nilai keasaman permukaan adsorben ampas tahu yang diperoleh adalah sebesar 7 mmol/g . Hal ini jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Fernandez (2014) yang menggunakan zeolit untuk menyerap logam Ca(II) dan Mg(II) memiliki keasaman permukaan sebesar $0,556 \text{ mmol/g}$. Dengan demikian maka keasaman permukaan adsorben ampas tahu lebih besar dari zeolit dan diharapkan bahwa semakin besar nilai keasaman permukaan maka semakin banyak ion logam yang dapat teradsorpsi. Saat terjadi adsorpsi, proton yang terdapat pada adsorben dapat digantikan oleh ion logam (asam Brønsted). Begitupun pada situs asam Lewis yang memiliki pasangan elektron sunyi seperti pada gugus amin, maka ion logam dapat terikat pada adsorben tersebut membentuk ikatan kovalen koordinasi.

d. Luas permukaan

Luas permukaan adsorben merupakan salah satu karakter fisik yang penting dalam proses adsorpsi karena mempengaruhi banyaknya adsorbat yang dapat teradsorpsi. Bila adsorben memiliki luas permukaan besar maka dapat memberikan bidang kontak yang lebih besar antara adsorben dan adsorbat, sehingga adsorbat dapat terserap lebih banyak. Penentuan luas permukaan dilakukan dengan metode adsorpsi menggunakan metilen biru dimana banyaknya molekul metilen biru yang

teradsorpsi sebanding dengan luas permukaan adsorben.

Pada proses ini terlebih dahulu ditentukan panjang gelombang maksimum metilen biru yang berkisar antara 600-700 nm menggunakan larutan metilen biru 5 mg/L dan diperoleh panjang gelombang maksimum metilen biru sebesar 661 nm. Hasil pengukuran panjang gelombang maksimum dapat dilihat pada Gambar 2. Selanjutnya diukur absorbansi larutan standar metilen biru pada berbagai variasi konsentrasi (0, 1, 2, 3, dan 4 mg/L) pada panjang gelombang maksimum. Hasil penentuan kurva standar disajikan pada Gambar 3 dan diperoleh persamaan regresi linear $y = 0,153x - 0,008$.

Tahap selanjutnya adalah penentuan waktu kontak optimum yang menunjukkan jumlah metilen biru yang teradsorpsi paling banyak oleh adsorben pada variasi waktu 30, 60, dan 90 menit. Hasil penelitian memberikan waktu kontak optimum tercapai pada waktu 60 menit. Adapun jumlah metilen biru yang teradsorpsi pada waktu kontak optimum adalah sebesar 2,119 mg/g dan dikonversi dengan menggunakan persamaan $S = \frac{X_m \cdot N \cdot \alpha}{M_r}$ (S: luas permukaan adsorben, X_m : massa metilen biru yang teradsorpsi, N: bilangan Avogadro, α : luas penutupan oleh satu molekul metilen biru ($197 \times 10^{-20} \text{ m}^2$). Sehingga diperoleh luas permukaan adsorben ampas tahu sebesar 7,843 m^2/g . Hal ini jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Widihati dkk

(2012), menggunakan metode yang sama dengan memanfaatkan arang batang pisang untuk menyerap ion Cr, luas permukaan arang batang pisang yang diperoleh sebesar 3,4559 m^2/g . Luas permukaan adsorben ampas tahu lebih besar dibandingkan adsorben arang batang pisang. Semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin banyak pula zat yang dapat teradsorpsi pada adsorben.

Adsorpsi ion logam

Pada penelitian ini digunakan dua jenis ion logam yaitu Ca^{2+} dan Cd^{2+} yang diinteraksikan dengan adsorben ampas tahu baik secara tunggal maupun simultan. Massa adsorben dan volume larutan logam yang digunakan konstan yaitu 0,1 gram dan 50 mL yang diinteraksikan dengan logam Ca^{2+} dan Cd^{2+} dengan variasi konsentrasi 0, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 300, 500, dan 1000 mg/L. Interaksi antara logam dan adsorben dilakukan pada waktu yang konstan yaitu satu jam. Waktu ini sesuai dengan hasil yang dilaporkan oleh Oscik (1982) yang menyatakan bahwa kesetimbangan adsorpsi ion logam pada berbagai adsorben umumnya tercapai setelah lebih kurang satu jam. Filtrat dipisahkan dari endapan menggunakan alat sentrifugasi dengan kecepatan putaran 2000 rpm selama 30 menit dan selanjutnya dianalisis menggunakan AAS.

Penentuan kapasitas adsorpsi dengan menggunakan persamaan isoterm

Langmuir yang didasarkan pada kurva hubungan antara jumlah ion logam yang teradsorpsi pada adsorben dalam keadaan setimbang baik pada keadaan tunggal maupun simultan seperti terlihat pada Gambar 4 dan 5.

Berdasarkan kurva pada Gambar 4 dan 5 dapat dinyatakan bahwa penyerapan ion logam Ca^{2+} dan Cd^{2+} , baik tunggal maupun simultan semakin naik dengan meningkatnya konsentrasi ion logam. Namun pada konsentrasi yang relatif tinggi kenaikan konsentrasi tidak lagi disertai dengan kenaikan adsorpsi ion logam dimana kurva cenderung konstan. Kecenderungan tersebut disebabkan karena pada konsentrasi tertentu situs aktif adsorben telah jenuh oleh ion logam. Gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa pola adsorpsi ion logam oleh adsorben ampas tahu mengikuti pola isoterm Langmuir, sehingga penentuan kapasitas dan Energi adsorpsi didasarkan pada persamaan isoterm Langmuir.

Parameter-parameter isoterm adsorpsi Langmuir yang diperoleh dari hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1 yang menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi ampas tahu terhadap Ca^{2+} lebih besar dibanding Cd^{2+} .

Menurut Pearson (1968), asam keras cenderung berikatan dengan basa keras dan asam lunak cenderung berikatan dengan basa lunak. Jika ditinjau dari prinsip ini maka Ca^{2+} merupakan asam keras yang akan berinteraksi dengan basa keras pada adsorben.

Adapun basa keras yang terdapat pada adsorben ini adalah gugus $-\text{OH}$, $-\text{NH}$ dan atom O pada COOH . Semakin banyak situs aktif yang berinteraksi dengan ion logam maka semakin banyak pula ion logam yang teradsorpsi. Sedangkan Cd^{2+} merupakan suatu asam lunak sehingga akan berinteraksi dengan basa lunak. Menurut Darmono (1995) logam berat seperti kadmium, timbal, merkuri, dan arsen dapat berikatan dengan protein membentuk metalotionin, dimana yang berperan penting adalah asam amino sistein yang mengandung gugus fungsi $-\text{SH}$. Gugus fungsi $-\text{SH}$ merupakan basa lunak yang terdapat pada adsorben ampas tahu yang akan berinteraksi dengan Cd^{2+} .

Apabila dibandingkan kapasitas adsorpsi ion logam Ca^{2+} dan Cd^{2+} secara tunggal maupun simultan, dapat diketahui bahwa kapasitas adsorpsi kedua jenis ion logam dalam keadaan tunggal lebih besar dibandingkan simultan. Hal ini disebabkan karena dalam keadaan simultan terjadi kompetisi ion logam untuk memperebutkan situs aktif yang terdapat pada permukaan adsorben.

Energi adsorpsi mengindikasikan kekuatan ikatan antara ion logam dengan situs aktif adsorben. Adsorpsi dapat dikategorikan sebagai adsorpsi kimia jika energi adsorpsi lebih dari 20,96 kJ/mol (Adamson, 1990). Dalam penelitian ini diperoleh energi adsorpsi (Tabel 1) Cd^{2+} baik tunggal maupun simultan lebih besar dari 20,96 kJ/mol, sedangkan energi

adsorpsi Ca^{2+} baik tunggal maupun simultan lebih kecil dari 20,96 kJ/mol. Oleh karena itu proses adsorpsi Cd^{2+} baik tunggal maupun simultan merupakan adsorpsi kimia yang melibatkan ikatan kimia antara adsorbat dengan permukaan adsorben sedangkan proses adsorpsi Ca^{2+} baik tunggal maupun simultan merupakan adsorpsi fisika. Hal ini mengakibatkan munculnya asumsi bahwa Ca^{2+} tidak terikat secara kimia pada adsorben melainkan hanya terperangkap atau terjebak dalam pori-pori adsorben, sementara adsorbat Cd^{2+} terikat pada adsorben melalui pembentukan ikatan kimia. Adapun nilai kapasitas dan energi adsorpsi menguatkan dugaan bahwa keberagaman situs aktif pada adsorben mengakibatkan adsorben dapat menyerap logam keras maupun lunak. Namun, kesesuaian sifat keras lunak antara adsorben dan adsorbat akan mengakibatkan terbentuk atau tidak terbentuknya ikatan kimia antara adsorben dan adsorbat yang dapat diacu dari nilai energi adsorpsi.

KESIMPULAN

Berdasarkan data FTIR, adsorben berupa ampas tahu mempunyai situs aktif berupa gugus N-H ($3749,62 \text{ cm}^{-1}$), OH ($3448,72 \text{ cm}^{-1}$), C=O peptida ($1639,4 \text{ cm}^{-1}$), C-O karboksilat ($1064,71 \text{ cm}^{-1}$). Sedangkan kadar air, keasaman permukaan dan luas permukaan masing-masing sebesar 6,802%, 7,00 mmol/g dan

7,843 m^2/g yang mengindikasikan bahwa ampas tahu dapat digunakan sebagai adsorben. Adapun nilai kapasitas adsorpsi terhadap Ca^{2+} lebih besar dari Cd^{2+} baik tunggal maupun simultan. Nilai kapasitas adsorpsi logam Ca^{2+} secara tunggal sebesar 2.857,143 $\mu\text{mol/g}$, Cd^{2+} tunggal 806,452 $\mu\text{mol/g}$, Ca^{2+} simultan 2272,727 $\mu\text{mol/g}$, dan Cd^{2+} simultan 769,231 $\mu\text{mol/g}$. Namun energi adsorpsi terhadap Cd^{2+} lebih besar dari Ca^{2+} baik secara tunggal maupun simultan. Nilai energi adsorpsi Ca^{2+} secara tunggal sebesar 13,215 kJ/mol, Cd^{2+} tunggal 20,995 kJ/mol, Ca^{2+} simultan 13,761 kJ/mol, dan Cd^{2+} simultan 21,439 kJ/mol.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A.W., 1990, *Physical Chemistry of Surfaces*, fifth edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Ahluwalia, S.S., dan Goyal, D., 2007, Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater, *Bioresource Technology*, **98**:2243-2257.
- Alluri, H.K., Ronda, S.R., Setalluri, V.S, Bondili, J.S, Venkateshwar P.P., 2007, Biosorption: An Eco-friendly Alternative for Heavy Metal Removal, *African Journal of Biotechnology*, **6**(25):2924-2931.
- Darmono, 1995, *Logam dalam Sistem Biologi Hidup*, UI-Press, Jakarta.
- Fernandez, Y. A., 2014, *Kemampuan Zeolit Alam Dan Sintetik Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kesadahan Air*, Skripsi, Jurusan Kimia FST Universitas Nusa Cendana, Kupang.

- Nohong, 2010, Pemanfaatan Limbah Tahu Sebagai Bahan Penyerap Logam Krom, Kadmium, dan Besi Dalam Air Lindi TPA, *Jurnal Pembelajaran Sains*, **6**(2).
- Oscik, J., 1982, *Adsorption*, Ellis Horwood Limited, England.
- Patrick, L., 2003, Toxic Metals and Antioxidants, Part II the Role of Antioxidant in Arsenic and Cadmium Toxicity—Toxic Metals Part II, *Alternative Medicine Review*.
- Pearson, R.G., 1968, Hard Soft Acids and Bases, HSAB, Part I. Fundamental Principles, *J. Chem. Educ.*, **45**, 581
- Rachmawan, O., 2001, *Pengeringan, Pendinginan dan Pengemasan Komoditas Pertanian*, Modul Dasar Bidang Keahlian Kode Modul SMKP1G08-10DBK, Depdiknas Proyek Pengembangan Sistem dan Standar Pengelolaan SMK Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Jakarta.
- Silverstein, R.M.; Bassler, G.C. and Morrill T.C., 1991, *Spectroscopic Identification of Organic Compounds*, fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Widihati, I.A.G., Suastuti, Ni, G.A.M.D.A. dan Nirmalasari, M.A.Y., 2012, Studi Kinetika Adsorpsi larutan Ion Logam Kromium (Cr) Menggunakan arang batang pisang (*musa paradisiaca*), *Jurnal Kimia*, Bukit Jimbaran, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bali.
- William, D. H. and I. Fleming, 1989, *Spectroscopy Methods in Organic Chemistry*, edisi keempat, McGraw-Hill Publishing Company Ltd., London.
- Winarno, F.G., 1995, *Kimia Pangan dan Gizi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.