

EVALUASI MODEL LANGMUIR-HINSELWOOD UNTUK KINETIKA ADSORPSI BESI(III) PADA 2-MERKAPTобенЗОТIAZOL-ZEOLIT ALAM

Sriyanti¹⁾, Taslimah¹⁾

¹⁾Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia
Fakultas MIPA Universitas Diponegoro Semarang

ABSTRAK

Telah dibuat adsorben dengan mengimpregnasikan 2-merkaptobenzotiazol pada padatan pendukung zeolit alam yang sebelumnya telah dilapisi polistirena. Adsorben yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk mengadsorpsi besi (III) dalam medium air. Sebelum impregnasi zeolit diberi perlakuan fisikokimia, meliputi pemanasan 80°C dalam campuran KMnO₄ dengan H₂SO₄; KMnO₄ dengan HCl dan KMnO₄ dengan H₂SO₄, dilanjutkan dengan HCl. Kajian kinetika dilakukan dengan variasi waktu kontak terhadap banyaknya besi (III) yang teradsorpsi menggunakan metode batch. Model kinetika Langmuir-Hinshelwood digunakan untuk mengestimasi besarnya konstanta laju, dan perubahan energi bebas adsorpsi. Sebagai evaluasi digunakan model kinetika adsorpsi melalui dua proses, cepat dan lambat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan awal KMnO₄-H₂SO₄-HCl pada zeolit alam dapat dinyatakan sebagai cara paling efektif untuk menurunkan aluminium (dealuminasi). Data adsorpsi ion besi (III) pada adsorben yang dibuat dari zeolit alam dengan perlakuan awal tersebut menunjukkan besi (III) teradsorpsi paling lambat baik dengan model Langmuir-Hinshelwood ($k_1=0,39 \times 10^{-2}$ menit⁻¹) maupun model adsorpsi dua proses (laju cepat (k_c)= $3,66 \times 10^{-2}$ menit⁻¹, laju lambat (k_l)= 0,106 menit⁻¹). Dari data energi bebas, besi(III) teradsorpsi secara fisik.

Kata kunci: zeolit alam, adsorpsi, 2-merkaptobenzotiazol, besi(III)

EVALUATION OF LANGMUIR-HINSELWOOD MODEL FOR KINETICS ADSORPTION OF IRON(III) ON 2-MERCAPTобенЗОТIAZOLE-NATURAL ZEOLITE

ABSTRACT

An adsorbent has been prepared by impregnating 2-mercaptobenzothiazole on natural zeolite support after coating with a layer of polystyrene. The adsorbent was then applied for adsorption of iron(III) in aqueous medium. Several treatments on the natural zeolite were done to include heating (80°C): in KMnO₄-H₂SO₄ mixture, . KMnO₄-HCl mixture and in KMnO₄-H₂SO₄ mixture followed by HCl addition. The adsorption kinetics models proposed by Langmuir and Hinshelwood was utilized in estimating the adsorption rate and energy involved in the adsorption. For evaluation purpose, two steps adsorption kinetics model was used. The results showed that the KMnO₄- H₂SO₄-HCl preliminary treatment on natural zeolite was found to be the most effective way in decreasing aluminum (dealumination) of the natural zeolite. Iron(III) ion adsorption data on the adsorbent prepare from the resulted natural zeolite suggested that iron (III) was adsorbed lowestly, both by Langmuir – Hinshelwood model (k_1) of 0.39×10^{-2} minute⁻¹ than two steps adsorption model [fast rate (k_c) of 3.66×10^{-2} minute⁻¹ and low rate (k_l) of 0.106 minute⁻¹]. From energy data found that iron(III) was physically adsorbed.

Key words: natural zeolite, adsorption, 2-mercaptobenzothiazole, iron (III)

PENDAHULUAN

Logam terlarut dapat menjadi polutan yang mempunyai efek toksik pada organisme hidup apabila bereaksi dengan molekul yang memiliki aktivitas biologi, seperti misalnya berbagai jenis enzim terutama metaloenzim dalam tubuh

mahluk hidup. Logam-logam terutama logam berat yang berpotensi mencemari lingkungan di antaranya adalah perak (Ag), merkuri (Hg), krom (Cr), cadmium (Cd), besi (Fe), timbale (Pb), timah (Sn) dan lain-lain (Freedman, 1995).

Berbagai usaha telah dilakukan untuk menurunkan konsentrasi logam terlarut, terutama logam-logam berat dalam lingkungan perairan. Salah satu metode yang berkembang pesat adalah adsorpsi, karena selain mudah dilakukan, juga efektivitasnya cukup tinggi dan biaya yang diperlukan cukup rendah. Adsorben yang paling umum dipakai adalah karbon aktif, alumina, silika gel dan zeolit (Oscik, 1982).

Untuk memperluas kegunaan suatu adsorben salah satunya adalah dengan memodifikasi permukaannya menggunakan senyawa atau molekul yang mempunyai gugus fungsional tertentu yang dikehendaki seperti $-SH$, $-NH_2$ atau $-COOH$. Filho(1995) memodifikasi permukaan lempung dengan mengimpregnasikan 2-Merkapto-benzotiazol (MBT) dan hasilnya ternyata mampu mengadsorpsi logam-logam berat, terutama Hg(II) dengan baik. Sriyanti dkk.(2001) melaporkan bahwa MBT yang diimpregnasikan pada padatan pendukung zeolit alam setelah dipanaskan dalam campuran: a). $KMnO_4$ dengan H_2SO_4 , b). $KMnO_4$ dengan HCl dan c). $KMnO_4$ dengan H_2SO_4 dilanjutkan dengan HCl mampu mengadsorpsi kadmium(II) dan besi(III) dengan kecenderungan yang berbeda. Dari kajian kinetika adsorpsi Cd(II) pada ketiga adsorben (Sriyanti, 2002) menunjukkan bahwa adsorpsi Cd(II) pada ketiga adsorben dapat dikategorikan sebagai adsorpsi kimiawi.

Dilihat dari perbedaan sifat antara Cd(II) dan Fe(III), di mana Cd(II) merupakan asam lunak sedangkan Fe(III) merupakan asam keras diharapkan interaksinya dengan gugus $-SH$ dari adsorben yang merupakan basa lunak akan memperlihatkan dampak yang berbeda. Untuk itu diperlukan suatu kajian kinetika adsorpsi Fe(III) dengan ketiga adsorben tersebut untuk melihat kecenderungan sifat adsorpsinya sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk jenis-jenis logam berat yang lain yang kemungkinan mempunyai kecenderungan sebagai polutan dalam perairan.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan meliputi zeolit alam dari Sukabumi dengan ukuran lolos ayakan 100 mesh, kalium permanganat, asam sulfat dan asam klorida, yang kesemuanya dalam kondisi p.a. serta akuades.

Peralatan yang digunakan meliputi seperangkat alat gelas, satu set alat refluks, ayakan berukuran 100 mesh, Shaker, Indikator pH universal, Spektrofotometer UV-Tampak Hitachi 250-20 dan Spektrofotometer Serapan Atom Hitachi 2-8000.

Preparasi dan karakterisasi adsorben.

Zeolit alam yang digunakan berasal dari Sukabumi berupa bongkahan; selanjutnya digerus menjadi butiran yang relatif seragam kemudian diayak dengan ayakan 100 mesh. Butiran yang lolos ayakan 100 mesh selanjutnya dipanaskan(refluks) dalam campuran a). $KMnO_4$ dengan H_2SO_4 ; b). $KMnO_4$ dengan HCl dan c). $KMnO_4$ dengan H_2SO_4 dilanjutkan dengan HCl. Impregnasi MBT pada silika gel mengikuti prosedur Filho(1995), yaitu dengan merendam zeolit alam pada polistirena (dalam kloroform), dilanjutkan dengan perendaman MBT(dalam aseton), di mana pelarut dibiarkan menguap pada suhu kamar. Karakterisasi adsorben yang dihasilkan dilakukan dengan menentukan rasio Si/Al dan banyaknya MBT yang terimpregnasi menggunakan Spektrofotometer UV-tampak.

Memperkirakan Laju Adsorpsi

Disiapkan delapan buah botol kecil yang masing-masing diisi dengan 10 mL larutan Fe(III) 100 mg/L. Ke dalam botol tersebut ditambahkan 0,1 g adsorben A.

Adsorpsi dilakukan dengan sistem *batch-shaker* dengan variasi waktu 2, 5, 10, 15, 20, 30, 45 dan 60 menit. Larutan supernatan dalam botol disaring dengan kertas Whatman-42, kemudian diukur konsentrasinya dengan AAS. Besi(III) yang teradsorpsi oleh adsorben A dihitung dari

perbedaan antara jumlah besi(III) mula-mula dengan jumlah besi(III) dalam larutan. Metode ini diulangi menggunakan adsorben B dan C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari analisis Spektrofotometer UV-tampak untuk penentuan rasio Si/Al berdasar metode Priyana dkk. (1979) dan untuk penentuan banyaknya MBT yang terimpregnasi berdasar metode Filho dkk. (1995), diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Banyaknya MBT yang terimpregnasi pada padatan dihubungkan dengan dealuminasi

Adsorben*)	Rasio Si/Al	MBT (mg/g zeolit)
Tanpa perlakuan	1,84	-
A	3,28	20,00
B	11,33	34,06
C	17,19	38,20

Keterangan

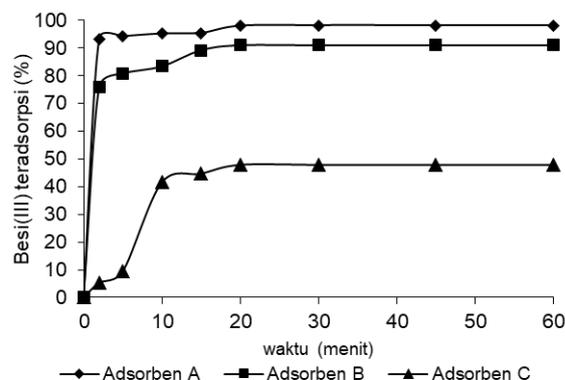
- A: Zeolit dengan perlakuan awal KMnO₄ dan H₂SO₄
- B: Zeolit dengan perlakuan awal KMnO₄ dan HCl
- C: Zeolit dengan perlakuan awal KMnO₄, H₂SO₄ dilanjutkan HCl

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa adsorben dengan perlakuan awal refluks dalam KMnO₄, H₂SO₄ dilanjutkan HCl untuk zeolit menyebabkan dealuminasi tertinggi sehingga jumlah MBT yang teradsorpsi tertinggi pula. Banyaknya besi (III) yang teradsorpsi pada berbagai variasi waktu ditunjukkan oleh tabel berikut:

Tabel 2. Pengaruh waktu interaksi terhadap adsorpsi ion besi (III)

Waktu (menit)	Banyaknya ion besi (III) yang tertinggal dalam larutan (mg/L)		
	Adsorben A	Adsorben B	Adsorben C
	2	6,6	24,0
5	5,8	19,2	90,6
10	4,8	16,6	58,4
15	4,6	10,8	55,2
20	2,0	9,0	52,0
30	1,8	9,0	52,0
45	1,8	9,0	52,0

Hasil pengamatan terhadap jumlah Fe(III) yang teradsorpsi pada berbagai waktu kontak dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Persentase Fe(III) yang teradsorpsi pada berbagai waktu interaksi

Berdasar pada model kinetika adsorpsi dalam larutan yang dikemukakan oleh Langmuir-Hinshelwood, Jin dkk (1996) melaporkan penjabaran sebagai berikut:



G adalah atom atau molekul gas adsorbat, S adalah situs permukaan padatan yang belum terisi, dan GS adalah atom atau molekul gas yang teradsorpsi pada permukaan adsorben. Apabila $GS \approx \theta$ adalah fraksi situs yang terisi adsorbat dan $S \approx \theta_0$ adalah fraksi situs yang belum terisi adsorbat, maka $\theta + \theta_0 = 1$ atau $\theta_0 = 1 - \theta$. Laju adsorpsinya adalah $r_{ads} = k_1p(S)$ atau $r_{ads} = k_1p(1 - \theta)$. Laju desorpsinya adalah $r_{des} = k_{-1}(GS)$ atau $r_{des} = k_{-1}(\theta)$. Pada kesetimbangan, lajunya adalah $r_{ads} = r_{des}$ sehingga didapatkan,

$$\theta / (1 - \theta) = k_1p / k_{-1} = Kp \tag{2}$$

dengan $K = k_1 / k_{-1}$ adalah suatu konstanta dan p adalah tekanan, persamaan (2) tersebut dapat ditulis:

$$\theta = Kp / (1 + Kp) \tag{3}$$

Dengan mengkonversi p menjadi konsentrasi molar Me, yaitu konsentrasi adsorbat saat setimbang, harga θ dari persamaan (3) dapat ditulis:

$$\theta = KMe/(1+KMe) \quad (4)$$

Sehingga laju adsorpsi dapat ditulis:

$$r_{ads} = k_1Me - k_1Me \cdot \frac{KMe}{1+KMe} \quad (5)$$

Dengan menyamakan penyebut diperoleh:

$$r_{ads} = \frac{k_1Me + k_1KMe^2 - k_1KMe^2}{1 + KMe} \quad (6)$$

Kinetika adsorpsi Langmuir-Hinshelwood dinyatakan:

$$-r_A = - \frac{dMe}{dt} = \frac{k_1Me}{1 + KMe} \quad (7)$$

r_A adalah laju reaksi ($\text{menit}^{-1}M$), k_1 adalah konstanta laju reaksi (menit^{-1}), K adalah konstanta kesetimbangan Langmuir, Me adalah konsentrasi logam dalam larutan (M) dan t adalah waktu (menit).

Dengan pemisahan variabel, persamaan (7) menjadi:

$$-(1 + KMe)dMe = k_1Medt \quad (8)$$

atau

$$\frac{dMe}{Me} + KdMe = -k_1dt \quad (9)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (9) diperoleh:

$$\ln Me + KMe = -k_1t + Y \quad (10)$$

di mana Y adalah konstanta integrasi.

Dengan mensubstitusikan $Me = Mo$ pada $t = 0$ maka persamaan (10) akan menjadi:

$$Y = \ln Mo + KMo \quad (11)$$

Melalui penataan ulang persamaan (11) menjadi:

$$\ln(Mo/Me) + K(Mo-Me) = k_1t \quad (12)$$

Persamaan (12) dibagi dengan $(Mo-Me)$ akan diperoleh:

$$\frac{\ln(Mo/Me)}{Mo-Me} + K = \frac{k_1t}{Mo-Me} \quad (13)$$

Plot $[\ln(Mo/Me)]/(Mo-Me)$ terhadap $t/(Mo-Me)$ akan diperoleh harga K dan konstanta laju reaksi k_1 masing-masing sebagai intersep dan slop (Jin, 1996). Persamaan (13) selanjutnya lebih dikenal sebagai persamaan **Langmuir-Hinshelwood** yang sering digunakan untuk memeperkirakan laju adsorpsi.

Keterangan

K : Konstanta kesetimbangan adsorpsi (mol/L)

k_1 : konstanta laju adsorpsi (menit^{-1})

Mo : Konsentrasi ion logam dalam larutan (mol/L)

M : Konsentrasi ion logam dalam larutan (mol/L)

t : Waktu kontak (menit)

Dari pengolahan kurva regresi linear diperoleh hasil seperti pada tabel 3, dan dapat diamati bahwa adsorben A dan B mempunyai konstanta laju adsorpsi yang hampir sama, sementara adsorben C hanya kurang lebih sepersepuluh dari kedua adsorben, dengan kata lain adsorpsi besi (III) pada adsorben C berlangsung jauh lebih lambat dibanding menggunakan adsorben A dan B.

Tabel 3. Harga-harga parameter laju adsorpsi menurut persamaan Langmuir-Hinshelwood.

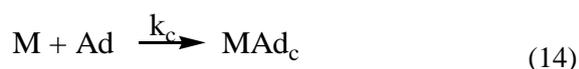
Adsorben	Parameter kinetika adsorpsi menurut Langmuir-Hinshelwood		
	k_1 (menit^{-1})	$-K$	ΔG_{ads} (kJ/mol)
A	0,0598	1514,90	-18,144
B	0,0402	987,95	-17,084
C	0,0039	670,40	-16,124

Kembali ke tabel 1 di atas bahwa adsorben C terimpregnasi paling sempurna, sehingga situs aktif adsorben didominasi oleh gugus $-SH$ dari MBT. Gugus $-SH$ merupakan basa lunak, sedangkan besi (III) merupakan basa keras, sehingga interaksi asam-basa (keras-lunak) kurang disukai. Teradsorpsinya Fe (III)

kemungkinan disebabkan oleh interaksi fisik antara padatan zeolit yang permukaannya belum tertutup MBT (sehingga gugus -OH yang banyak berperan) dengan ion Fe (III). Hal tersebut didukung oleh rendahnya energi yang terlibat dalam adsorpsi. (Menurut Adamson (1990), batas minimum untuk adsorpsi kimia, melibatkan energi sebesar 20,92 kJ/mol). Tanda negatif pada energi bebas, menunjukkan adsorpsi berlangsung spontan.

Dari persamaan Langmuir-Hinshelwood di atas, muncul suatu kejanggalan, di mana parameter konstanta kesetimbangan adsorpsi (K) bernilai negatif, hal ini tidak mungkin terjadi karena berarti kesetimbangan adsorpsi bergeser ke kiri, atau dengan kata lain adsorpsi tidak berlangsung. Kalau digunakan harga mutlak Jin dkk.(1996) juga tidak memberikan alasan. Untuk itu perlu dilakukan suatu koreksi. Menurut Nuryono (2003), koreksi dapat dilakukan dengan metode pendekatan, bahwa adsorpsi dianggap berlangsung dalam dua tahap, yaitu tahap lambat dan cepat. Untuk itu dalam penelitian ini dicoba penggunaan pendekatan tersebut.

Dengan asumsi bahwa proses mengikuti order 1 maka adsorpsi dapat dinyatakan dengan persamaan reaksi:



dengan M merupakan ion logam (adsorbat), Ad_c dan Ad_l masing-masing merupakan situs adsorben untuk adsorpsi cepat dan lambat, dan MAd_c dan MAd_l adalah adsorben yang telah mengadsorpsi logam M, k_c dan k_l masing-masing merupakan tetapan laju adsorpsi cepat dan lambat, k'₁ merupakan tetapan laju desorpsi pada proses lambat. Nilai k'_c diabaikan karena jauh lebih kecil daripada k_c. Pada t mendekati nol, laju adsorpsi atau laju pengurangan

konsentrasi logam hanya ditentukan oleh adsorpsi cepat sehingga diperoleh persamaan;

$$-\frac{dM}{dt} = k_l M \quad (16)$$

Integrasi mulai dari Mo pada to sampai M pada waktu t diperoleh

$$\ln \frac{M_o}{M} = k_l t \quad (17)$$

Dengan menggambarkan kurva hubungan antara ln (Mo/M) versus t maka akan diperoleh slop yang merupakan nilai tetapan laju adsorpsi tahap cepat, k_c.

Setelah proses cepat berakhir, adsorpsi ditentukan oleh proses lambat yang diasumsikan berlangsung secara reversibel sehingga adsorpsi dinyatakan sebagai:



Laju pengurangan logam M dinyatakan oleh:

$$-\frac{dM}{dt} = k_l M - k'_1 MAd_l \quad (19)$$

Jika M hanya berasal dari larutan awal maka Mo - M = MAd_l

$$-\frac{dM}{dt} = (k_l + k'_1)(M - k'_1 M_o) \quad (20)$$

Integrasi menghasilkan:

$$\ln \frac{k_l M_o}{(k_l + k'_1)(M - k'_1 M_o)} = (k_l + k'_1)t \quad (21)$$

setelah proses mencapai kesetimbangan maka berlaku -dM/dt = 0 dan diperoleh:

$$k_l M_e = k'_1 (M_o - M_e) \quad (22)$$

dengan subskrip e menunjukkan konsentrasi pada keadaan setimbang, kemudian

$$M_e = \frac{k'_1}{(k_l + k'_1)} M_o \quad (23)$$

Dengan mengkonversi p menjadi M, persamaan (2) dan (3) dapat ditulis ulang menjadi

$$\ln\left(\frac{M_0-M_e}{M-M_e}\right) = (k_1 + k'_1)t \quad (24)$$

dengan menggambarkan kurva hubungan $\ln[(M_0-M_e)/(M-M_e)]$ versus t akan diperoleh slop (s) yang merupakan nilai $k_1 + k'_1$. Jika digabung dengan persamaan (16) maka nilai k_1 dan k'_1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$k_1 = \left(1 - \frac{M_e}{M_0}\right) \times s \quad (25)$$

$$k'_1 = \frac{M_e}{M_0} \times s \quad (26)$$

Tetapan kesetimbangan adsorpsi-desorpsi tahap lambat K_1 diperoleh dari nilai k_1/k'_1 dan energi bebas Gibbs pada keadaan standar adsorpsi-desorpsi tahap lambat dapat dihitung dari:

$$\Delta G^\circ_{a-d} = -RT \ln K_1 \quad (27)$$

Pegolahan kurva regresi linear disajikan dalam tabel 4.

Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa adsorpsi Fe(III) pada ketiga adsorben dapat didekati dengan metode dua proses, dengan kata lain adsorpsi Fe(III) pada ketiga adsorben meliputi baik proses cepat maupun proses lambat. Fenomena yang mencolok adalah perbedaan kuantitas konstanta laju, di mana adsorben A dan B cenderung berperilaku mirip, sedangkan adsorben C mempunyai perilaku yang berbeda.

Adsorpsi Fe (III) pada adsorben A dan B mempunyai konstanta laju adsorpsi cepat kurang lebih 300 kali lebih besar dibanding konstanta adsorpsi lambat, sehingga dapat dikatakan bahwa adsorpsi pada adsorben A dan B didominasi oleh adsorpsi tahap cepat.

Sebaliknya, adsorpsi pada adsorben C mempunyai konstanta laju adsorpsi cepat kurang

lebih 1/3 kali dibanding konstanta adsorpsi proses lambat. Perbedaan yang tidak terlalu besar ini mengindikasikan bahwa adsorpsi pada adsorben C kemungkinan melalui proses cepat dan lambat yang hampir seimbang. Dilihat dari besarnya energi adsorpsi yang terlibat ketiganya tergolong adsorpsi fisik. Harga positif dari energi bebas adsorpsi pada adsorben C, menunjukkan adsorpsi tidak berlangsung spontan dalam keadaan standar, tetapi dalam adsorpsi ini proses adsorpsi dapat berlangsung spontan karena proses adsorpsi tidak dalam keadaan standar. Harga positif dari energi bebas adsorpsi pada adsorben C, menunjukkan adsorpsi tidak berlangsung spontan dalam keadaan standar, tetapi dalam adsorpsi ini proses adsorpsi dapat berlangsung spontan karena proses adsorpsi tidak dalam keadaan standar.

Kembali pada tabel 1 di atas, bahwa perlakuan fisikokimia dengan asam sulfat maupun asam klorida menyebabkan impregnasi MBT lebih berhasil dibanding menggunakan asam sulfat atau asam klorida saja. Jika dihubungkan dengan data kinetika di atas, maka impregnasi MBT menghalangi adsorpsinya dengan Fe(III), sehingga konstanta laju adsorpsinya pada proses cepat kurang lebih 1400 kali lebih lambat dibanding adsorpsi dengan adsorben zeolit alam dapat dinyatakan sebagai adsorpsi fisik.

Tabel 4. Harga-harga parameter laju adsorpsi menurut pendekatan dua proses

Adsorben	Parameter laju adsorpsi dua proses				ΔG (kJ/mol)
	k_c (menit ⁻¹)	k_1 (menit ⁻¹)	k'_1 (menit ⁻¹)	K	
A	51,347	0,145	0,0027	54,614	-9,911
B	55,050	0,140	0,0138	10,143	-5,740
C	0,0366	0,106	0,115	0,923	+0,199

KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa model kinetika Langmuir-Hinshelwood seperti dijabarkan oleh Jin dkk(1996) perlu dikoreksi karena terdapat kekeliruan konsep yang mendasar. Proses adsorpsi besi(III) pada

MBT-zeolit alam secara umum dapat didekati melalui dua proses (cepat dan lambat), dan adsorpsi besi(III) pada adsorben dengan perlakuan awal menggunakan dua asam (asam sulfat dan asam klorida) berlangsung jauh lebih lambat dibanding adsorpsi menggunakan adsorben dengan perlakuan awal menggunakan salah satu asam saja. Dari kisaran energi, adsorpsi besi(III) pada MBT-zeolit alam dapat dinyatakan sebagai adsorpsi fisik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Universitas Diponegoro yang telah memberi bantuan dana melalui program DIK RUTIN Universitas Diponegoro dan kepada Bapak Dr. Nuryono, M.S atas makalah-makalah yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A.W., 1990, "Physical Chemistry of Surfaces", edisi kelima, John Wiley & Son, Toronto.
- Filho, N.L.D., Y. Gushikem, and W.L. Polito, 1995, "2-Mercaptobenzothiazole Clay as Matrix for Sorption and Preconcentration of Some Heavy Metals from Aqueous Solution," *Anal. Chim. Acta.* 306:167-172.
- Freedman, B., 1995, "Environmental Ecology," edisi kedua, Academic Press, London.
- Jin, X., 1996, "Kinetics of Single and Multiple Ion Sorption Process on Humic Substances," *Soil. Sci.*, 161: 509-520.
- Nuryono, V.V.H. Susanti dan Narsito, 2003, "Kajian kinetika Adsorpsi Krom(III) pada tanah Diatomit Setelah Perlakuan dengan Asam sulfat dan Asam Klorida," *Simposium Nasional Kimia Fisik III*, Semarang, 19 Maret 2003.
- Oscik, J., 1982, "Adsorption," Ellis Horwood Limited, Chichester.
- Priyana, Mudjiran, Narsito dan S. Akhmad, 1979, "Analisa Kimia Unsur-unsur Utama dalam Bahan-bahan Bumi", FIPA, UGM, Yogyakarta.
- Sriyanti, Narsito dan Nuryono, 2001," Selektivitas 2-Merkaptobenzotiazol Terimpregnasi Pada Zeolit alam Untuk Adsorpsi Cd(II) dalam Campuran Cd(II)-Fe(III)," *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, Yogyakarta, Mei 2001.
- Sriyanti, 2002, "Kajian Kinetika adsorpsi Kadmium(II) dalam Medium air Menggunakan Adsorben 2-Merkaptobenzotiazol-(Zeolit Alam)," *Seminar Nasional Kimia UNNES-UNDIP*, Semarang, 9 Maret 2002