

JURNAL TEKNIK KIMIA

ISSN 0853 - 0963

Nomor 3, Volume 6, Agustus 2005

ETHYLENE GLIKOL SEBAGAI PENSTABIL PADA CAMPURAN BATUBARA-AIR Masitoh Rasuan	1
KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA DAN DIFUSIVITAS EFEKTIF PADA ADSORPSI LARUTAN KROMIUM DALAM KOLOM ISIAN ZEOLIT AKTIF Robiah, M.Arief Karim, dan Ani Melani	10
PENGARUH KONSENTRASI ASETON UNTUK MENINGKATKAN AKTIVITAS PAPAIN DARI GETAH BUAH PEPAYA Faisol Asip, Windu Fidyanto dan Deny Fitriansyah	17
STUDI MODEL MATEMATIKA EKSTRAKSI PEKTIN DARI KULIT BUAH MARKISA Azharly H. Surest, T. Perihatini dan Sariwanti	20
SUATU KAJIAN BAGAIMANA MENGHITUNG EVAPORASI PADA COOLING TOWER PUSRI II PALEMBANG Faisol Asip dan Dahlia.....	24

DITERBITKAN OLEH JURUSAN TEKNIK KIMIA BEKERJASAMA
DENGAN IKATAN ALUMNI TEKNIK KIMIA UNIVERSITAS SRIWIJAYA

EDITORIAL

Pembaca yang baik,

Jurnal Teknik Kimia merupakan suatu wadah publikasi Ilmu Teknik Kimia, untuk saling membuka wawasan keilmuan dan pertukaran informasi dalam bidang Ilmu Teknik Kimia disamping itu ikut mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Pada nomor 3 volume 6, Bulan Agustus 2005, lima naskah penelitian yang semuanya ditulis staf pengajar Jurusan Teknik Kimia Unsri dibantu mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Unsri serta satu naskah dari Jurusan Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Palembang.

Kami mengundang para pembaca baik staf pengajar Teknik Kimia Unsri maupun dari perguruan tinggi yang lain atau dari pihak luar yang mempunyai naskah asli hasil penelitian atau modeling yang relevan dengan Teknik Kimia untuk mengirimkannya.

Demikianlah, pengantar dari kami, segala kritik dan saran yang sifatnya memperbaiki Jurnal Teknik Kimia ini akan kami terima dengan senang hati. Semoga apa yang telah disajikan dapat menimbulkan ide yang baru kepada pembaca.

Salam dari Redaksi

JURNAL

TEKNIK

KIMIA

- Penasehat** : Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya
- Penanggung Jawab** : Ketua Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya
- Dewan Penyunting** : Dr. Ir. H.M. Faizal, DEA
Dr. Ir. Purwanto, DEA (UNDIP)
Dr. Ir. M. Said, M.Sc.
Dr. Ir. Surachman Gumay, M.Sc.
Dr. Ir. Wahyudi B, SU (UGM)
Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
Dr. Ir. Tri Kurnia Dewi, M.Sc.
Dr. Ir. Rochmadi, SU (UGM)
Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA
Dr. Ir. H.M. Hatta Dahlan, M.Eng.
Dr. Ir. Rosadi, DEA (ITS)
Dr. Ir. M. Djoni Bustan, M.Eng.
Dr. Ir. Sri Haryati, DEA
Dr. Ir. Nonot Soewarno, M.Eng. (ITS)
- Pelaksana Produksi** : Ir. Azhary H. Surest, M.S.
Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA
Tuti Indah Sari, ST. MT.
Prasetyowaty, ST.MT
Triemiaty, ST.
- Sirkulasi/Distribusi** : Ir. A. Fuadi Ramdja, M.Sc.
Ir. H.A.R. Fachry, M.Eng.
Ir. Hj. Farida Ali, DEA
Ir.Pamilia Conniwanti, MT.
Elda Melwita, ST.MT
Leily Nurul Komariah, ST.MT.
- Alamat Redaksi** : Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Palembang – Prabumulih
Km. 32 Inderalaya, 30662
Telp./ Fax : (0711) 580 303

TERBIT SECARA PERIODIK UNTUK INSTANSI / LEMBAGA ILMIAH,
PARA ILMUWAN DAN YANG BERMINAT

KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA DAN DIFUSIVITAS EFEKTIF PADA ADSORPSI LARUTAN KROMIUM DALAM KOLOM ISIAN ZEOLIT AKTIF

Robiah, M. Arief Karim, dan Ani Melani

Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang

ABSTRAK

Semakin berkembangnya industri akan berdampak semakin banyaknya limbah yang dihasilkan. Untuk mengurangi dampak negative limbah terhadap lingkungan perlu penanganan limbah sebelum dibuang. Salah satu limbah yang berbahaya adalah limbah kromium yang berasal dari industri electroplating. Limbah ini dapat menyebabkan penyakit kanker jika terakumulasi dalam jangka waktu lama. Salah satu teknik pengolahan limbah yang paling banyak digunakan adalah dengan cara adsorpsi, sedangkan media penyerap yang ekonomis dan mempunyai kemampuan penyerapan yang tinggi adalah zeolit. Pada penelitian ini dilakukan dengan proses kontinyu. Umpan dilewatkan melalui kolom adsorpsi yang berisi zeolit, pengambilan sample dilakukan selang waktu 10 menit, dengan variable yang diteliti adalah waktu (dengan range : 10 s.d. 90 menit), laju alir (dengan range Re : 2,9 s.d. 12,16), dan tinggi kolom (dengan range : 30 cm s.d. 60 cm).

Dari hasil penelitian diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$Sh = 1,34897 \cdot 10^{-4} Re^{0,214} (z/Dp)^{0,7886} \text{ dan}$$

$$(De/D_{AB}) = 0,177444 (Re)^{0,088} (Z/Dp)^{0,3249}$$

Kata kunci : adsorpsi, kromium

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan dan kemajuan dalam bidang industri di Indonesia selain meningkatkan kesejahteraan, juga dapat menimbulkan dampak negatif berupa pencemaran lingkungan.

Pencemaran lingkungan dapat berasal dari buangan industri berbentuk gas, cair dan padatan. Limbah industri terutama limbah logam berat seperti Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr dan lain-lain dapat merusak kesehatan bahkan dapat mematikan manusia dan makhluk lainnya. Salah satu limbah yang berasal dari

elektroplating (penyepuhan) adalah krom (*kromium*).

Teknik pengolahan logam berat dapat dilakukan dengan cara : adsorpsi, pertukaran ion, ekstraksi dan proses membran. Cara adsorpsi adalah cara yang paling sering digunakan karena mempunyai kemampuan mengurangi kadar logam lebih banyak. Adsorpsi adalah proses pemisahan salah satu komponen dalam larutan dengan cara penyerapan komponen yang akan dihilangkan pada permukaan bahan penyerap (adsorben). Adsorben dapat berupa : karbon aktif, zeolit, batu apung, dan lain-lain. Zeolit mempunyai kegunaan sangat luas berdasarkan kemampuannya untuk melakukan pertukaran

ion, daya serap, daya saring molekuler dan daya katalis karena zeolit bersifat porous, mempunyai surface area yang besar, molekuler sieve. Zeolit mempunyai kapasitas penjerapan yang besar dan relatif murah serta banyak terdapat di Indonesia.

1.2. Perumusan Masalah

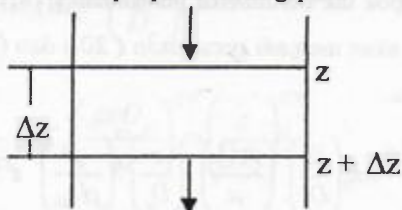
Salah satu logam berat yang merupakan komponen buangan dari limbah industri adalah Cr. Kromium merupakan komponen limbah yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan, sehingga sebelum dibuang ke lingkungan perlu dikurangi atau dihilangkan sama sekali. Salah satu cara yang mudah dan murah adalah dengan cara adsorpsi dengan adsorben zeolit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses perpindahan massa pada permukaan pori-pori dalam butir adsorben. Perpindahan massa yang terjadi melalui batas antara dua fasa yaitu : gas-padat, cair-padat. Limbah cair yang mengandung Cr dengan konsentrasi sangat rendah dapat dihilangkan dengan cara adsorpsi. Limbah dialirkan dari atas ke bawah pada fixed bed column berisi butir-butir adsorben, adsorpsi terjadi melalui proses sebagai berikut :

- Perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir.
- Difusi dari permukaan butir ke dalam butir melalui pori.
- Perpindahan massa dari cairan dalam pori ke dinding pori.
- Adsorpsi pada dinding pori.



Perpindahan massa dari cairan dalam pori ke dinding pori (proses c) umumnya berlangsung cepat sehingga tidak mengontrol. Adsorpsi pada dinding pori (proses d) umumnya juga

berlangsung relative sangat cepat, sehingga tidak mengontrol juga. Jadi yang umumnya mengontrol kecepatan proses adsorpsi adalah proses a dan b atau keduanya. Jika butir-butir sangat kecil (seperti serbuk) maka difusi dari permukaan ke dalam butir (proses b) berlangsung relative sangat cepat sehingga tidak mengontrol. Akibatnya yang mengontrol adalah perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir. Sebaliknya, jika butir-butir berukuran besar, difusi dari permukaan ke dalam butir relative sangat lambat, sehingga yang mengontrol adalah proses difusinya.

Persamaan – persamaan dasar yang berkaitan dengan proses adsorpsi adalah :

- Perpindahan massa zat yang dijerap dari larutan ke permukaan luar butir penjerap, didekati dengan persamaan :

$$N_A = k_c a (C_A - C_{Ai}) \quad (1)$$

- Difusi zat yang dijerap dalam pori penjerap mengikuti persamaan :

$$N_A = -D_e \frac{dC_A}{dz} \quad (2)$$

- Perpindahan massa zat yang dijerap dari larutan dalam pori ke permukaan pori penjerap, didekati dengan persamaan :

$$N_A = k_c a (C_{Ai} - C_A^*) \quad (3)$$

- Jika hubungan kesetimbangan adsorpsi dapat didekati dengan persamaan yang mirip dengan persamaan Hendry:

$$C_A^* = H X_A \quad (4)$$

Neraca massa adsorbat pada fase cair dalam kolom pada elemen volum setebal Δz sebagai berikut:

$$\frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} - \frac{v}{D_e} \frac{dC_A}{dz} - \frac{k_c a}{D_e} (C_A - H X_A) = \frac{\epsilon}{D_e} \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (5)$$

- Neraca mass adsorbat pada fase padatan di elemen volum Δz :

$$K_c a (C_A - C_A^*) = \rho_B \frac{\partial X_A}{\partial t} \quad (6)$$

3. Persamaan Kesetimbangan

$$\frac{\partial X_A}{\partial t} = \frac{k_c a}{\rho_B} (C_A - HX_A) \quad (7)$$

Keadaan batas untuk persamaan (5) dan persamaan (7) adalah :

- Kondisi awal :
 $0 < z < n ; t = 0 ; C_A = 0 ; X_A = 0$
 Kondisi batas :
 $z = 0 ; C_A = C_{in} ; t > 0$
 $z = n ; C_A(t) ; t > 0$

2.2. Penyusunan persamaan beda hingga

Pada penelitian ini dilakukan cara implicit, dengan pendekatan persamaan differensial sebagai berikut

$$\frac{\partial C_A}{\partial z} = \frac{C_{i+1,j+1} - C_{i-1,j+1}}{2\Delta z} \quad (8)$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial z} = \frac{C_{i+1,j+1} - C_{i-1,j+1}}{2\Delta z} \quad (9)$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = \frac{C_{i,j+1} - C_{i,j}}{\Delta t} \quad (10)$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = \frac{X_{i,j+1} - X_{i,j}}{\Delta t} \quad (11)$$

1. Persamaan beda hingga pada elemen volum cairan setebal Δz :

$$(1 + P)C_{i-1,j+1} - (2 + Q + R)C_{i,j+1} + (1 - P)C_{i+1,j+1} - Q(HX_{i,j+1}) = -R(C_{i,j}) \quad (12)$$

Persamaan ini berlaku untuk $i=1,2,3,\dots,(n-1)$

Dengan: $P = \frac{v\Delta z}{2D_e}$; $Q = \frac{k_c a(\Delta z)}{D_e}$; $R = \frac{\epsilon(\Delta z)^2}{D_e \Delta t}$

2. Persamaan beda hingga pada elemen volum cairan sekitar $z = 0$.

$$\left(1 + P + \frac{Q}{2} + \frac{R}{2}\right)C_{0,j+1} + (P-1)C_{1,j+1} = \frac{R}{2}C_{0,j} + 2PC_m + \frac{Q}{2}HX_{0,j+1} \quad (13)$$

3. Persamaan beda hingga pada elemen volum cairan sekitar $z=n$.

$$C_{n-1,j+1} \left(\frac{v}{2} + \frac{D_e}{\Delta z} \right) - \left(1 + P + \frac{Q}{2} + \frac{R}{2} \right) C_{n,j} = \frac{R}{2} C_{n,j} + \frac{Q}{2} HX_{n,j+1} \quad (14)$$

Berdasarkan pendekatan persamaan, maka persamaan (9) diubah dalam bentuk persamaan beda hingga sebagai berikut :

$$\frac{X_{i,j+1} - X_{i,j}}{\Delta t} = \frac{k_c a}{\rho_B} (C_{i,j} - HX_{i,j}) \quad (15)$$

$$X_{i,j+1} = X_{i,j} + \frac{k_c a \Delta t}{\rho_B} C_{i,j} - \frac{k_c a \Delta t}{\rho_B} (HX_{i,j}) \quad (16)$$

Jika $M = \frac{k_c a \Delta t}{\rho_B}$ maka persamaan (16)

menjadi:

$$X_{i,j+1} = X_{i,j} (1 - HM) + C_{i,j} M \quad (17)$$

Dan persamaan (17) berlaku untuk:

$$i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$$

2.3. Analisis Dimensi

Hubungan koefisien perpindahan massa ($k_c a$) dengan Difusivitas efektif aksial (D_e) untuk berbagai peubah yang berpengaruh dapat ditulis:

$$k_c a = f_1(\rho, \mu, D_b, v, D_p, z, D_{AB}, \epsilon, \psi) \quad (18)$$

$$D_e = f_2(\rho, \mu, D_b, v, D_p, z, D_{AB}, \epsilon, \psi) \quad (19)$$

Jika dinyatakan dalam hubungan antar kelompok tak berdimensi persamaan (18) dan (19) akan menjadi persamaan (20) dan (21), yaitu:

$$\frac{k_c a D_p^3}{D_{AB}} = K_1 \left(\frac{D_t}{D_p} \right)^{c_1} \left(\frac{\rho v D_p}{\mu} \right)^{c_2} \left(\frac{z}{D_p} \right)^{c_3} \left(\frac{\mu}{\rho D_{AB}} \right)^{c_4} \epsilon^{c_5} \psi^{c_6} \quad (20)$$

$$\frac{D_e}{D_{AB}} = K_2 \left(\frac{D_t}{D_p} \right)^{c1^*} \left(\frac{\rho v D_p}{\mu} \right)^{c2^*} \left(\frac{z}{D_p} \right)^{c3^*} \left(\frac{\mu}{\rho D_{AB}} \right)^{c4^*} \epsilon^{c5^*} \phi^{c6^*} \quad (21)$$

Diambil anggapan-anggapan sebagai berikut :

1. Harga ρ , μ dan D_{AB} dianggap tetap, karena adsorpsi dilakukan pada kondisi suhu tetap (Isotermal).
2. Harga ϵ , ψ , D_t tetap karena ukuran dan bentuk butiran adsorben yang digunakan dianggap tetap.

Berdasarkan anggapan – anggapan tersebut, maka dari persamaan yang sudah ada dapat disusun ulang dan terbentuk persamaan baru, yaitu:

Koefisien perpindahan massa (k_c) dalam bentuk:

$$\frac{k_c a D^2 p}{D_{AB}} = K_1 \left(\frac{\rho v D_p}{\mu} \right)^{c1} \left(\frac{z}{D_p} \right)^{c2} \left(\frac{D_t}{D_p} \right)^{c3}$$

$$Sh = K_1 (Re)^{c1} \left(\frac{z}{D_p} \right)^{c2} \left(\frac{D_t}{D_p} \right)^{c3} \quad (22)$$

Difusivitas efektif aksial dalam bentuk :

$$\frac{D_e}{D_{AB}} = K_2 \left(\frac{\rho v D_p}{\mu} \right)^{c1^*} \left(\frac{z}{D_p} \right)^{c2^*} \left(\frac{D_t}{D_p} \right)^{c3^*} \quad (23)$$

Pada penelitian ini harga (D_t/D_p) dibuat tetap maka persamaan (22) dan (23) menjadi :

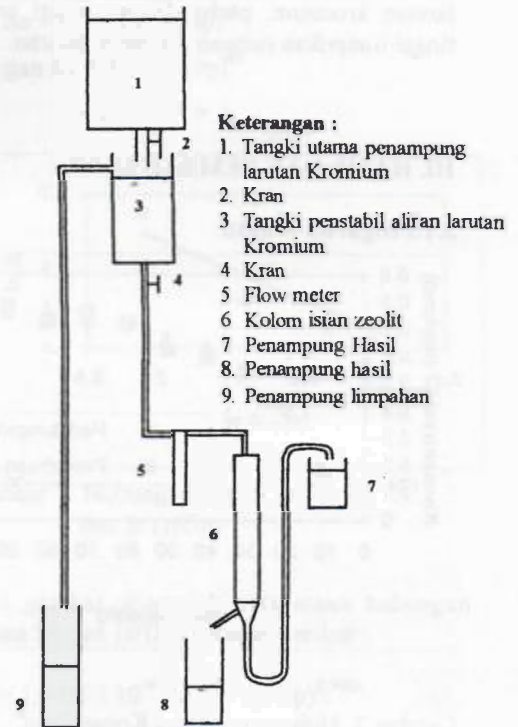
$$Sh = K_1 (Re)^{c1} \left(\frac{z}{D_p} \right)^{c2} \quad (24)$$

$$\frac{D_e}{D_{AB}} = K_2 \left(\frac{\rho v D_p}{\mu} \right)^{c1^*} \left(\frac{z}{D_p} \right)^{c2^*} \quad (25)$$

Harga – harga K_1 , K_2 , c_1 , c_2 , c_1^* , dan c_2^* diperoleh dari percobaan dengan variasi harga-harga v dan z/D_p

2.4. Metode Penelitian

Susunan alat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan secara skematik dalam gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat

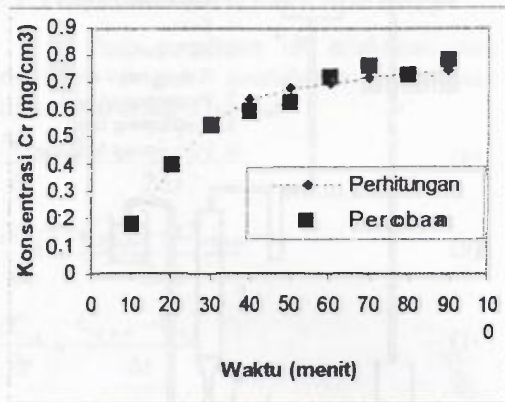
2.5. Prosedur Percobaan

Zeolit alam diayak untuk mendapatkan ukuran tertentu, kemudian dicuci berkali – kali dengan air suling untuk menghilangkan serbuk halus yang masih menempel dipermukaan zeolit, lalu dikeringkan dalam oven selama 2 – 3 jam pada suhu 250°C. Setelah itu zeolit diaktifkan dengan asam klorida lalu dipanaskan secara tidak langsung sampai HCl dalam zeolit mengering. Zeolit tersebut dicuci lagi dengan aquadest lalu dipanaskan kembali. Zeolit yang sudah diaktifkan dengan diameter tertentu dimasukkan fixed bed column dengan tinggi tumpukan tertentu. Larutan kromium dengan konsentrasi tertentu dialirkan dalam kolom yang diatur kecepatannya dengan memutar

kran dan diukur kecepataannya dengan flow meter. Pada waktu – waktu tertentu larutan kromium yang keluar dari kolom diambil untuk dianalisa dengan AAS. Percobaan dilakukan untuk variabel waktu, kecepatan alir larutan kromium, perbandingan tinggi antara tinggi tumpukan dengan diameter butiran.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Waktu

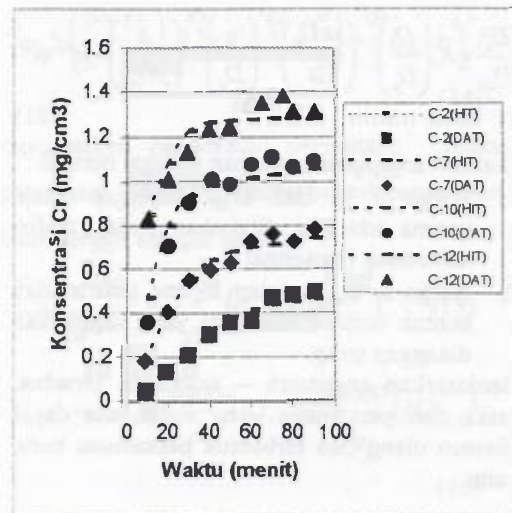


Gambar 2. Hubungan antara Konsentrasi terhadap waktu pada Re = 12, 16

Pengaruh waktu proses adsorpsi terhadap kromium yang dijerap dapat ditunjukkan bahwa semakin lama waktu proses maka semakin banyak kromium yang dapat dijerap. Pada awal proses pori zeolit masih kosong sehingga proses penjerapan sangat cepat, lama kelamaan kromium yang dijerap akan mengalami akumulasi sehingga zeolit yang dijerap semakin berkurang sampai pada titik jenuh.

3.2. Pengaruh Laju Alir Larutan

Laju alir dipelajari pada kisaran 2,9016 sampai 12,160 pada suhu 28 °C. Tinggi tumpukan zeolit setinggi 30 cm dengan diameter kolom 3,5 cm, dengan konsentrasi awal 1,6355 mg/cm³.

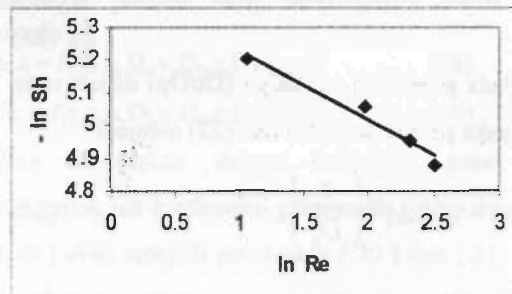


Gambar 3. Hubungan antara konsenrasi kromium terhadap waktu pada berbagai laju alir.

Dari grafik terlihat bahwa semakin cepat laju alir larutan maka kromium yang dijerap semakin sedikit. Hal ini disebabkan bahwa dengan semakin lambatnya laju alir maka semakin lama kontak antara larutan dengan zeolit, hal ini akan semakin banyak kesempatan kromium untuk dijerap. Dari data yang diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$Sh = R_1 (Re)^{c1} \text{ dengan:}$$

$$R_1 = K_1 (z/Dp)^{c2} (dt/Dp)^{c3}$$

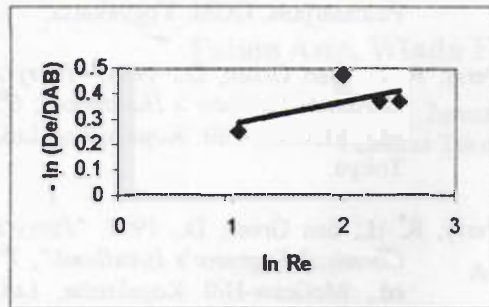


Gambar 4. Hubungan antara bilangan Reynolds dan bilangan Sherwoods.

Semakin cepat laju alir larutan maka akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan massa volumetrik. Hal ini disebabkan kca akan semakin besar dengan semakin besarnya turbulensi aliran.

Dari gambar 4. diperoleh persamaan umum Bilangan Sherwood sebagai fungsi bilangan Reynolds sebagai berikut :

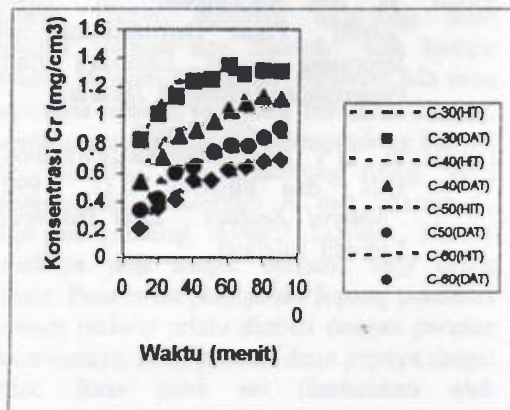
$$Sh = 4,3304 \cdot 10^{-3} Re^{0,214}$$



Gambar 5. Hubungan antara (De/D_{AB}) terhadap Re

Dari grafik diperoleh persamaan :
 $(De/D_{AB}) = 0,8246469 Re^{-0,088}$

1.6.3. Pengaruh Perbandingan Tinggi Tumpukan zeolit dengan Diameter Butir Bahan Isian



Gambar 6. Hubungan Konsentrasi terhadap waktu pada berbagai tinggi bed pd $Re=12,16$ & $(Dt/Dp) = 16,588$

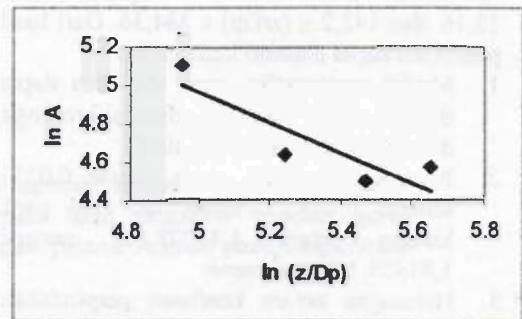
Dari grafik.6 dapat dilihat bahwa semakin tinggi tumpukan zeolit pada kolom maka semakin banyak kromium yang dapat terjerap hal ini dikarenakan dengan semakin banyaknya zeolit maka akan semakin luas permukaan zeolit sehingga akan semakin

banyak tempat untuk menjerap kromium. Dari hasil perhitungan dan data diperoleh harga K_3 dan Sh (pada Tabel 7) kemudian persamaan (39) dievaluasi dengan regresi linier dengan peubah z/Dp sebagai berikut :

$$Sh Re^{-0,214} = K_3 (z/Dp)^{c_2}$$

Dengan $K_3 = K_2 (Dt/Dp)^{c_3}$

$$Sh Re^{-0,214} = A$$



Gambar 7. Hubungan antara $\ln Sh Re^{-0,214}$ dan $\ln(z/Dp)$

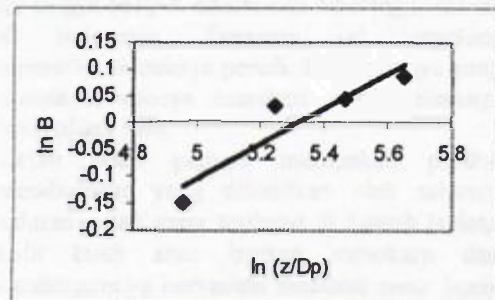
Dari gambar diperoleh persamaan hubungan antara Sh dan (z/Dp) sebagai berikut :

$$Sh = 1,34897 \cdot 10^{-4} Re^{0,214} (z/Dp)^{0,7886}$$

Hubungan antara Difusivitas efektif dengan peubah (z/Dp) dapat dievaluasi dengan persamaan (39) dengan peubah lain tetap, maka persamaan (39) dapat dituliskan :

$$(De/D_{AB}) Re^{0,088} = K_3 (z/Dp)^{c_2^*}$$

dengan: $K_4 = K_3 (Dt/Dp)^{c_3}$
 $(De/D_{AB}) Re^{0,088} = B$



Gambar 8. Hubungan antara $\ln B$ dan $\ln(z/Dp)$

Dari grafik diperoleh persamaan umum (De/D_{AB}) sebagai berikut:

$$(De/D_{AB}) = 0,177444 (Re)^{-0,088} (Z/Dp)^{0,3249}$$

IV. KESIMPULAN

Adsorpsi kromium dalam kolom isian zeolit diteliti pada kisaran $2,90 \leq Re \leq 12,16$ dan $142,2 \leq (z/Dp) \leq 284,36$. Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan :

1. Model matematika yang diajukan dapat dipakai untuk peristiwa adsorpsi kromium dalam kolom isian zeolit aktif.
2. Nilai k_a diperoleh pada kisaran 0,0257 sampai 0,0355 l/menit dan De pada kisaran antara $1,43202 \cdot 10^{-5}$ sampai $1,81405 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{menit}$.
3. Hubungan antara koefisien perpindahan massa dengan peubah operasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Sh = 1,34897 \cdot 10^{-4} Re^{0,214} (z/Dp)^{0,7886}$$

$$(De/D_{AB}) = 0,177444 (Re)^{-0,088} (Z/Dp)^{0,3249}$$

DAFTAR PUSTAKA

Cassidy, H. G., 1951, "Adsorption and Chromatography", vol. 2, Interscience Publishers, Inc., New York.

Heltina D., 2000, "Koeffisien Perpindahan Massa dan Difusivitas Efektif pada Adsorpsi Larutan Kadmium dalam Kolom Isian Zeolit Aktif", Tesis yang diajukan kepada Fakultas Teknik Pascasarjana, UGM, Yogyakarta.

Perry, R. H., dan Green, D., 1984, "Perry's Chemical Engineer's Handbook", 6th ed., McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo.

Perry, R. H., dan Green, D., 1997, "Perry's Chemical Engineer's Handbook", 7th ed., McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Singapore.

Sediawan, W.B. dan Prasetyo, A., 1997, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia", Andi Offset, Yogyakarta.

Treybal, R.E., 1968, "Mass Transfer Operations", 2 ed., McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo.

Sutarti, M. dan Rachmawati, M., 1994, "Zeolit", Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.

Tsitsishvili, G.V., Andronikashvili, Klinov, G.N., dan Filizova, L.D., 1992, "Natural Zeolites", Ellis Horwood Limited, England.