

KOEFISIEN TRANSFER MASSA ADSORPSI LOGAM BERAT Cr DAN Zn DENGAN PASIR BERLAPIS BESI OKSIDA (Fe₂O₃)

YC. Danarto*, Burhan Kurniawan** dan Agung Prasetyo**

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

**) Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

Abstract: Sorption into iron-oxide coated sand is promising technology for removal of the dissolved heavy metal fraction in the heavy metal solution. The objective of this research was to study the effect of temperature upon to mass transfer coefficient of heavy metals in solution to adsorben ($k_c a$). The experiment was carried out in a stirred batch flask. Iron-oxide coated sand was contacted with heavy metal solution (Zn and Cr) at constant temperature. Samples was drawn at certain times and the remaining heavy metal concentration was measured by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed that the temperature had significant effect to the mass-transfer coefficient and could be expressed as :

$$k_c a = 1069.34 \cdot \exp\left(-\frac{3331.9}{T}\right) \quad \text{for Cr solutions}$$

$$k_c a = 133.18 \cdot \exp\left(-\frac{2443.6}{T}\right) \quad \text{for Zn solutions}$$

The relative errors were 10.49 % and 4.88 %, respectively.

Keywords : iron oxide coated sand, adsorption, mass-transfer coefficient

PENDAHULUAN

Dengan semakin berkembangnya industri, seperti industri kertas, tekstil, penyamak kulit dan sebagainya, semakin banyak pula logam berat yang dibuang sebagai limbah. Logam yang dimaksud adalah timbal (Pb), kromium (Cr), tembaga (Cu), kadmium (Cd), nikel (Ni), dan seng (Zn). Limbah ini akan menyebabkan pencemaran serius terhadap lingkungan jika kandungan logam berat yang terdapat di dalamnya melebihi ambang batas dan akan menyebabkan penyakit serius bagi manusia apabila terakumulasi di dalam tubuh. Beberapa metode kimia maupun biologis telah dicoba untuk mengambil logam berat yang terdapat di dalam limbah, diantaranya adsorpsi, pertukaran ion, pemisahan dengan membran, dan yang lainnya. Proses adsorpsi lebih banyak dipakai dalam industri karena lebih ekonomis.

Kebanyakan adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi adalah alumina, karbon aktif, silica gel, dan zeolit. Adsorben tersebut

mempunyai kemampuan adsorpsi yang baik tetapi tidak ekonomis. Dewasa ini sedang digalakkan penelitian mengenai penggunaan adsorben alternatif yang berasal dari alam, dimana selain memiliki kemampuan adsorpsi yang baik juga ekonomis.

Salah satu adsorben alternatif yang menjanjikan adalah pasir karena disamping tersedia luas di hampir setiap tempat juga harganya yang relatif murah. Penelitian Muhammad et al (1997 and 1998) menunjukkan bahwa pasir mempunyai kemampuan menyerap logam Cu, Cr, Cd dan Pb. Adsorpsi tersebut menggunakan alat slow sand filtration. Untuk meningkatkan efisiensi penyerapan, Møller et al (2002) dan Benjamin et al (1993 and 1996) menggunakan pasir yang dilapisi besi oksida. Møller et al (2002) juga menggunakan pasir yang telah dilapisi besi oksida untuk mengurangi kadar logam berat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelapisan pasir dengan besi oksida akan meningkatkan luas pori-pori adsorben.

Kebanyakan penelitian mengenai adsorpsi logam berat menggunakan pendekatan kesetimbangan adsorpsi saja padahal menurut Volensky (2000) transfer massa logam berat dalam cairan ke adsorben sangat mempengaruhi kecepatan adsorpsi secara keseluruhan.

Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh suhu terhadap nilai koefisien transfer massa logam berat dalam larutan ke adsorben.

DASAR TEORI

Proses adsorpsi terjadi pada permukaan pori-pori dalam adsorben, sehingga untuk bisa teradsorpsi, logam dalam cairan mengalami proses-proses seri sebagai berikut :

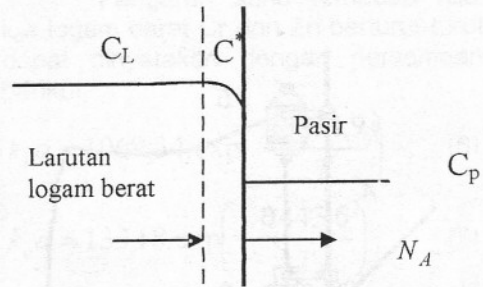
1. Perpindahan massa logam dari cairan ke permukaan adsorben
2. Difusi dari permukaan adsorben ke dalam adsorben melalui pori
3. Perpindahan massa logam dari cairan dalam pori ke dinding pori adsorben
4. Adsorpsi logam pada dinding pori adsorben

Perpindahan massa logam dari cairan dalam pori ke dinding pori adsorben dan adsorpsi pada dinding pori adsorben umumnya berlangsung sangat cepat sehingga proses ini tidak mengontrol kecepatan adsorpsi secara keseluruhan. Akibatnya yang mengontrol adalah perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir atau difusi dari permukaan adsorben ke dalam adsorben melalui pori. (Sediawan dan Prasetya, 1997)

Pada penelitian ini, adsorben yang digunakan berukuran sangat kecil sehingga difusi dari permukaan adsorben ke dalam adsorben dapat diabaikan. Jadi yang mengontrol proses adsorpsi secara keseluruhan adalah perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir adsorben.

Neraca massa logam pada fase cair,

$$-k_c a (C_L - C^*) . V = V \frac{dC_L}{dt} \quad (1)$$



Gambar 1. Transfer massa antar fasa cair-padat

Neraca massa logam pada fase padat,

$$k_c a (C_L - C^*) V = M \frac{dC_p}{dt} \quad (2)$$

Karena luas transfer massa antar fase sukar untuk diketahui, maka digunakan faktor a yang menunjukkan luas muka transfer massa antar permukaan persatuan volume total.

Hubungan kesetimbangan adsorpsi mengikuti persamaan yang mirip hukum Henry,

$$C_p = K_H . C^* \quad (3)$$

Persamaan empiris yang menyatakan hubungan koefisien transfer massa $k_c a$ terhadap suhu yang berlaku pada jenjang suhu yang tidak begitu lebar dapat dinyatakan dengan hubungan (Do, 1998):

$$k_c a = k_{c0} . e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (4)$$

Pengaruh suhu terhadap nilai konstanta Henry H pada adsorpsi logam berat dapat dihubungkan dengan persamaan van't Hoff, (Do, 1998):

$$K_H = K_{H0} . e^{\frac{\Delta H^\circ}{RT}} \quad (5)$$

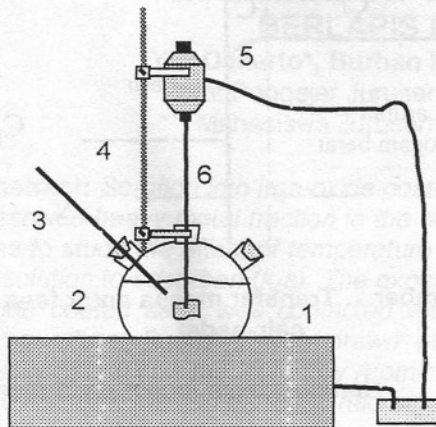
METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- Larutan $ZnCl_2$.
- Larutan $K_2Cr_2O_6$
- Pasir yang dilapisi besi oksida.

Rangkaian alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Keterangan gambar :

1. water bath
2. labu leher tiga
3. thermometer
4. penyangga
5. motor listrik
6. pengaduk

Gambar 2. Rangkaian alat adsorpsi

Langkah Penelitian

Pembuatan pasir yang dilapisi besi oksida

Menyaring 200 gr pasir dengan menggunakan saringan 40-50 mesh. Membuat larutan FeCl_3 dengan pH 10 sebanyak 100 ml dengan menambahkan larutan NaOH. Setelah itu mencampur 100 ml larutan FeCl_3 dengan 200 gr pasir. Memanaskan campuran tersebut pada suhu 100°C dan mengaduknya sampai ± 2 jam. Mencuci pasir dengan aquades dan kemudian di keringkan dalam oven pada suhu 100°C selama ± 4 jam (sampai kering). (Benjamin, 1996)

Percobaan adsorpsi

Penelitian dimulai dengan memasukkan pasir besi yang dilapisi besi oksida sebanyak 35 g ke dalam labu leher tiga yang telah berisi larutan logam berat (Zn atau Cr) 350 mL dengan kadar 3 ppm. Proses adsorpsi dilakukan pada suhu konstan. Tiap selang 10 menit selama 1 jam, sampel diambil untuk diketahui kadar logam beratnya menggunakan AAS.

Percobaan dilakukan untuk suhu 27°C , 35°C , 45°C , dan 55°C

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian hubungan konsentrasi logam berat Zn dan Cr pada berbagai waktu dan suhu dapat dilihat pada tabel I dan II.

Tabel I. Konsentrasi logam berat Cr pada berbagai suhu (konsentrasi logam berat awal : 3 ppm)

Waktu (menit)	Konsentrasi (ppm) pada Suhu			
	27°C	35°C	45°C	55°C
0	3,0000	3,0000	3,0000	3,0000
10	2,6558	2,4803	2,3656	2,2454
20	2,3995	2,2219	1,9851	1,7560
30	2,3452	2,1538	1,9941	1,5694
40	2,2432	2,1135	1,9941	1,5908
50	2,1532	2,0697	1,9762	1,5743
60	2,1498	2,0105	1,9583	1,5794

Tabel II. Konsentrasi logam berat Zn pada berbagai suhu (konsentrasi logam berat awal : 3 ppm)

Waktu (menit)	Konsentrasi (ppm) pada Suhu			
	27°C	35°C	45°C	55°C
0	3,0000	3,0000	3,0000	3,0000
10	2,1793	1,9799	1,8144	1,5095
20	1,5701	1,3711	1,2263	0,9879
30	1,2706	1,0220	0,9640	0,7440
40	1,0540	0,9811	0,8194	0,7038
50	0,9873	0,9578	0,7726	0,6972
60	0,9772	0,9553	0,7699	0,7075

Dari tabel I dan II diperoleh kecenderungan yang sama, yaitu terdapat penurunan konsentrasi logam berat dalam larutan seiring dengan bertambahnya waktu. Hal ini karena semakin lama waktu adsorpsi maka semakin banyak logam berat yang terjerap dalam adsorben.

Dari tabel I didapatkan bahwa efisiensi penjerapan pasir berlapis besi oksida terhadap logam berat Cr sebesar 28,34% pada suhu 27°C dan meningkat dengan kenaikan suhu sehingga mencapai 47,35% pada suhu 55°C . Sedangkan pada tabel II didapatkan bahwa efisiensi penjerapan pasir berlapis besi oksida terhadap logam berat Zn sebesar 67,43% pada suhu 27°C dan meningkat dengan kenaikan

suhu sehingga mencapai 76,42% pada suhu 55°C.

Pengaruh suhu terhadap nilai k_{ca} dan K_H pada adsorpsi logam berat Cr dan Zn dapat dilihat pada tabel III dan IV

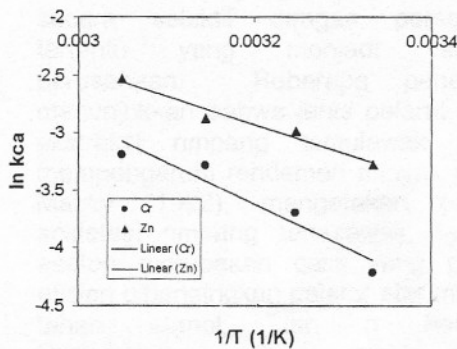
Tabel III. Nilai k_{ca} pada berbagai suhu pada adsorpsi logam berat Cr

Suhu (°C)	k_{ca} (1/menit)	K_H
27	$1,4747 \cdot 10^{-2}$	0,2341
35	$2,4816 \cdot 10^{-2}$	0,2125
45	$3,7651 \cdot 10^{-2}$	0,1871
55	$4,0953 \cdot 10^{-2}$	0,1041

Tabel IV. Nilai k_{ca} pada berbagai suhu pada adsorpsi logam berat Zn

Suhu (°C)	k_{ca} (1/menit)	K_H
27	$3,7864 \cdot 10^{-2}$	$3,8623 \cdot 10^{-2}$
35	$5,1017 \cdot 10^{-2}$	$3,3522 \cdot 10^{-2}$
45	$5,6728 \cdot 10^{-2}$	$3,1746 \cdot 10^{-2}$
55	$7,9872 \cdot 10^{-2}$	$2,9169 \cdot 10^{-2}$

Pada tabel III dan IV terlihat bahwa nilai k_{ca} semakin besar seiring dengan bertambahnya suhu. Hal ini kemungkinan berkaitan dengan semakin aktifnya gerakan ion-ion logam berat karena bertambahnya suhu sehingga perpindahan massa ion logam berat dari cairan ke permukaan adsorben semakin mudah.



Gambar 3. Grafik hubungan $\ln k_{ca}$ dengan $1/T$

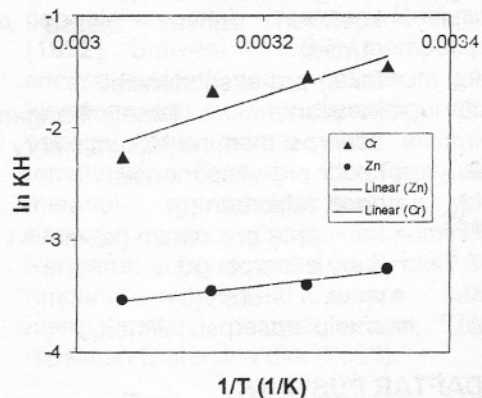
Pengaruh suhu terhadap nilai k_{ca} logam berat Cr dan Zn berturut-turut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut,

$$k_{ca} = 1069,34 \cdot \exp\left(-\frac{3331,9}{T}\right) \quad (6)$$

$$k_{ca} = 133,18 \cdot \exp\left(-\frac{2443,6}{T}\right) \quad (7)$$

dengan kesalahan relatif masing-masing adalah 10,94 % dan 4,88 %.

Pada tabel III dan IV juga terlihat bahwa nilai K_H semakin turun seiring dengan bertambahnya suhu. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya suhu adsorpsi maka energi untuk desorpsi semakin meningkat sehingga lebih banyak jumlah ion logam berat yang terlepas dari adsorben dibandingkan dengan jumlah ion logam berat yang terjerap dalam adsorben.



Gambar 4. Grafik hubungan $\ln K_H$ dengan $1/T$

Pengaruh suhu terhadap nilai K_H pada adsorpsi logam berat Cr dan Zn masing-masing dapat dinyatakan dengan persamaan berikut,

$$K_H = 2,73 \times 10^{-5} \cdot \exp\left[-\frac{2784,9}{T}\right] \quad (8)$$

$$K_H = 1,43 \times 10^{-3} \cdot \exp\left[-\frac{988,57}{T}\right] \quad (9)$$

Panas adsorpsi logam berat Cr dan Zn masing-masing adalah 23,15 kJ/mol dan 8,22 kJ/mol. Kesalahan relatif masing-masing adalah 17,22 % dan 1,55 %.

KESIMPULAN

1. Pemodelan matematis yang diajukan dapat mewakili peristiwa transfer massa logam berat ke dalam pasir yang dilapisi besi oksida.
2. Semakin tinggi suhu maka nilai koefisien transfer massa ($k_c a$) semakin besar.
3. Semakin tinggi suhu maka nilai konstanta kesetimbangan adsorpsi menurut hukum Henry (K_H) semakin kecil.

DAFTAR DAN ARTI LAMBANG

- C_L = konsentrasi logam berat dalam cairan (mg/L)
 C_p = konsentrasi logam berat dalam padatan (mg/g)
 C^* = konsentrasi logam berat dalam cairan yang setimbang dengan padatan (mg/L)
 E_a = energi aktivasi, kJ/mol
 $k_c a$ = koefisien transfer massa A (1/mnt)
 k_{co} = faktor pre-eksponensial
 K_H = konstanta kesetimbangan adsorpsi menurut hukum Henry
 K_{H0} = faktor pre-eksponensial
 M = berat adsorben (g)
 R = konstanta gas umum (kJ/mol.K)
 T = suhu adsorpsi (K)
 V = volume larutan (L)
 ΔH° = entalpi adsorpsi, kJ/mol

DAFTAR PUSTAKA

- Benjamin, M.M., 1996, "Sorption and Filtration of using Iron Oxide Coated Sand", Water Science Technoigy, 2609-2620
- Benjamin, M.M., Chang, Y.J., Li, C.W., and Korshin, G., 1993, "NOM Adsorption onto Iron-oxide Coated Sand", AWWA Research Foundation, Order No. 90632
- Benjamin, M.M. and Li, C.W., 1996, "Adsorption and Filtration Studies Using Iron-oxide Coated Olivine", AWWA Research Foundation, Order No. 90679
- Møller, J., Ledin, A., and Mikkelsen, P.S., 2002, "Removal of Dissolved Heavy Metals from Pre-settled Stormwater Runoff by Iron-oxide Coated Sand", Rambøll, Water and Wastewater, Denmark
- Muhammad, N., Parr, J., Smith, M.D., and Wheatley, A.D., 1997, "Removal of Heavy Metals by Slow Sand Filtration", 23rd WEDC Conference: Water and Sanitation for All, Partnerships and innovations, 167-170
- Muhammad, N., Parr, J., Smith, M.D., and Wheatley, A.D., 1998, "Adsorption of Heavy Metals by Slow Sand Filters", 24th WEDC Conference: Water and Sanitation for All, 346-349
- Sediawan, W.B. dan Prasetya, A., 1997, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia dengan Pemrograman Bahasa Basic dan Fortran", Andi, Yogyakarta
- Volesky, B., 2000, "Biosorption: Application Aspects-Process Simulation Tools", Department of Chemical Engineering, McGill University, Montreal