

ADSORBSI LOGAM CHROME PADA LIMBAH ELEKTROPLATING MENGUNAKAN ADSORBEN KARBON AKTIF

Endang Kwartiningsih*, Putiasari**

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

Abstract : Based on surveying from several electroplating industries, the fact that waste of the electroplating industries is still above the concentration's limit. The government has settled it which is 2 mg/liter of chrome metal/liter of solution. Because of that, an effort to overcome liquid electroplating waste is needed. One of the treatment of electroplating waste is an adsorption method. This research's aim was to know the value of mass transfer coefficient on chrome metal adsorption in continue system with active carbon as the adsorbent. Mass transfer coefficient (*kca*) is important for designing an industrial equipment (adsorber). This research was conducted by flowing waste liquid through a column filled with active carbon grain. Every period of time, the liquid flowed from the column, was analyzed using AAS and resulting the chrome concentration's based on the research's results. The variable which was observed in this research was rate of flow, which were 164,349; 200,442; 222,0978; 272,628; 344,814 and 417 cm³/minute. In this research, mathematical model representing the adsorption process was made. The correlation between rate of flow and *kca* was represented with Non Dimensional Group equation, which is :

$$\frac{Kca.Dp^2}{Dv} = 0.282889 \left[\frac{F.\rho}{Dp.\mu} \right]^{0.4594}$$

Key words : electroplating, adsorption, AAS, mass transfer coefficient

PENDAHULUAN

Limbah cair industri electroplating diperoleh dari air bilasan yang dibuang, larutan pembersih maupun larutan plating yang telah jenuh dan tidak dapat dipakai lagi. Limbah cair industri electroplating yang dibuang ternyata masih mengandung logam-logam berat berbahaya yang salah satunya adalah chrome.

Polutan logam berat (chrome) sangat berbahaya jika langsung dibuang ke lingkungan karena sukar terdegradasi secara biokimia. Kandungan chrome dalam limbah cair dapat menyebabkan penyumbatan sirkulasi darah, liver, dan ginjal jika terakumulasi dalam tubuh.

Melihat betapa berbahayanya limbah industri electroplating, maka perlu diadakannya suatu penelitian yang dapat

mengurangi kandungan logam dalam limbah, sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu cara yang diajukan untuk mengolah limbah tersebut adalah dengan proses adsorpsi menggunakan karbon aktif.

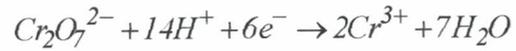
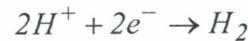
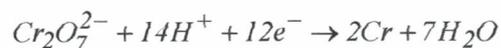
LANDASAN TEORI

Elektroplating adalah proses pelapisan dengan menggunakan arus listrik dalam suatu larutan elektrolit. Logam yang akan dilapiskan bertindak sebagai anoda yang dihubungkan dengan kutub positif dari sumber tegangan, dibenamkan ke dalam larutan elektrolit. Logam yang akan dilapisi (benda kerja) berlaku sebagai katoda dan dihubungkan dengan kutub negative dari sumber tegangan. Jika sumber tegangan dinyalakan maka arus akan mengalir melalui larutan elektrolit, sehingga menyebabkan anoda melarut dan menempel pada katoda membentuk suatu lapisan logam.

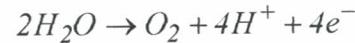
Pelapisan logam chrome dapat dilakukan dengan diawali proses pelapisan perantara (pelapisan tembaga dan nikel) setelah benda kerja dibersihkan dan dibilas. Pelapisan logam chrome dilakukan dengan menggunakan timbal sebagai anodenya dan larutan elektrolitnya terdiri dari chromic acid, sulfat acid dan air.

Reaksi yang terjadi yaitu :

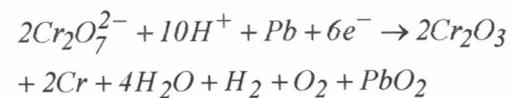
Katode:



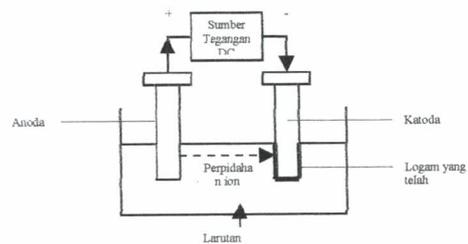
Anode :



Reaksi total yang terjadi :



(Hartomo, A. J dan Kaneko, Tomijiro, 1992)



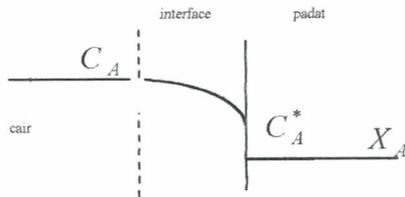
Gambar 1. Prinsip Elektroplating

Adsorpsi adalah suatu proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang harus dipisahkan ditarik oleh permukaan sorben padat dan diikat oleh gaya-gaya yang bekerja pada permukaan tersebut. (Sukardjo, Drs, 1985)

Proses adsorpsi terjadi pada permukaan pori-pori dalam butir adsorben, sehingga transfer massa logam A dari cairan ke dalam pori-pori butir adsorben tersebut akan mengalami proses-proses sebagai berikut:

- a. perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir

- b. difusi dari permukaan butir ke dalam butir melalui pori
- c. perpindahan massa dari cairan dalam pori ke dinding pori adsorpsi pada dinding pori



Gambar 2. Mekanisme Transfer Massa

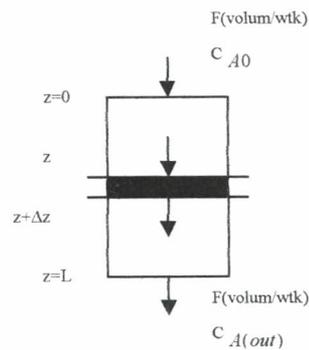
Umumnya yang mengontrol kecepatan proses adsorpsi adalah proses a atau proses b atau keduanya. Jika butir-butir kecil maka difusi dari permukaan ke dalam butir (proses b) berlangsung relative sangat cepat sehingga tidak mengontrol. Akibatnya yang mengontrol adalah perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir, begitu juga untuk sebaliknya, Proses adsorpsi yang ditinjau menggunakan butir-butir adsorben berukuran relatif kecil sehingga yang mengontrol kecepatan proses adsorpsi adalah perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir yang kecepatannya dapat didekati dengan persamaan:

$$NA \left(\frac{gA}{\text{waktu.volumbed}} \right) = k_c \cdot a \cdot (C_A - C_A^*) \quad (1)$$

Misal hubungan kesetimbangan adsorpsi dapat didekati dengan persamaan Henry

$$C_A^* = H \cdot X_A \quad (2)$$

Aliran dianggap plug flow. Ingin disusun persamaan-persamaan matematis yang biasa dipakai untuk menghitung kadar A dalam air di dalam kolom pada berbagai posisi dan waktu, serta kadar A terserap oleh adsorben pada berbagai posisi dan waktu.



Gambar 3. Fixed Bed Column Adsorber

Neraca massa A pada fasa cair dalam elemen volum setebal Δz

Rate of input – rate of output = rate of accumulation

$$\left(-D_e S \frac{\partial C_A}{\partial z} + F C_{Az} \right) - \left(-D_e S \frac{\partial C_A}{\partial z} + F C_{Az+\Delta z} + k_c a (C_A - C_A^*) S \Delta z \right) = S \Delta z \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (3)$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial z} \frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{\partial C_A}{\partial z} \frac{F}{S D_e} \frac{C_{Az+\Delta z} - C_{Az}}{\Delta z} - \frac{k_c a}{D_e} (C_A - C_A^*) = \frac{\varepsilon}{D_e} \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (4)$$

Jika diambil $\Delta z \rightarrow 0$, diperoleh

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial C_A}{\partial z} \right) - \frac{F}{SD_e} \frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{k_c a}{D_e} (C_A - C_A^*) = \frac{\varepsilon}{D_e} \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right) - \frac{F}{SD_e} \frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{k_c a}{D_e} (C_A - C_A^*) = \frac{\varepsilon}{D_e} \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (6)$$

Jika perpindahan massa difusi aksial diabaikan, maka dengan mudah terlihat

bahwa suku $\left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right)$ hilang.

Neraca massa A teradsorpsi dalam adsorben dalam elemen volum:

Rate of input – rate of output = rate of accumulation

$$k_c a (C_A - C_A^*) S \Delta z - 0 = S \Delta z \rho_b \frac{\partial X_A}{\partial t} \quad (7)$$

Jika diambil $\Delta z \rightarrow 0$ dan dilakukan penyederhanaan, maka diperoleh

$$\frac{\partial X_A}{\partial t} = \frac{k_c a}{\rho_b} (C_A - C_A^*) \quad (8)$$

Jadi diperoleh persamaan diferensial parsial simultan (6) dan (8) dengan persamaan (2).

(Prasetya dan Sediawan, 1994)

Kondisi batas :

- $t = 0$, pada semua posisi z , $C_A = C_{A0}$
- $t = t$, pada posisi $z = 0$, $C_A = C_{A0}$
- $t = t$, pada posisi $z = L$, $C_A = C_{AL}$

Persamaan-persamaan diferensial tersebut di atas dapat diselesaikan dengan cara *finite difference approximation implicit*. Interval tebal dibagi menjadi N bagian yang masing-masing tebalnya Δz dan batas-batas

interval diberi indeks $i = 0, 1, 2, 3, \dots, N$, sedangkan interval waktu dibagi menjadi interval kecil-kecil yang besarnya masing-masing Δt dan batas-batas interval diberi indeks $j = 0, 1, 2, 3, \dots$

Finite difference approximation untuk persamaan (8) berbentuk :

$$\frac{X_{Ai, j+1} - X_{Ai, j}}{\Delta t} = \frac{k_c a}{\rho_b} (C_{Ai, j+1} - C_A^*_{i, j+1}) \quad (9)$$

$$X_{Ai, j+1} = X_{Ai, j} + \frac{k_c a \Delta t}{\rho_b} (C_{Ai, j+1} - C_A^*_{i, j+1}) \quad (10)$$

Jika persamaan $C_A^* = H X_A$ dimasukkan ke dalam persamaan (22) maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$X_{Ai, j+1} = X_{Ai, j} + \frac{k_c a \Delta t}{\rho_b} (C_{Ai, j+1} - H X_{Ai, j+1}) \quad (11)$$

$$X_{Ai, j+1} = \frac{X_{Ai, j}}{(1 + H\gamma)} + \frac{\gamma}{(1 + H\gamma)} C_{Ai, j+1} \quad (12)$$

dengan :

$$\gamma = \frac{k_c a \Delta t}{\rho_b}$$

Sedang, persamaan (6) berubah menjadi:

$$\frac{-F}{SD_e} \left[\frac{C_{Ai+1, j+1} - C_{Ai-1, j+1}}{2\Delta z} \right] - \frac{k_c a}{D_e} (C_{Ai, j+1} - C_A^*_{i, j+1}) = \frac{\varepsilon}{D_e} \left[\frac{C_{Ai, j+1} - C_{Ai, j}}{\Delta t} \right] \quad (13)$$

Persamaan di atas dikalikan dengan

$$\frac{2De\Delta zS}{F}, \text{ sehingga menjadi :}$$

$$-CA_{i+1,j+1} + CA_{i-1,j+1} - \frac{kca2\Delta zS}{F}$$

$$(CA_{i,j+1} - CA^*_{i,j+1}) = \frac{2\Delta z\varepsilon S}{F\Delta t}(CA_{i,j+1} - CA_{i,j}) \quad (14)$$

$$CA_{i-1,j+1} - \frac{2kca\Delta zS}{F}(CA_{i,j+1} - CA^*_{i,j+1}) -$$

$$\frac{2\Delta z\varepsilon S}{F\Delta t}CA_{i,j+1} - CA_{i+1,j+1} = -\frac{2\Delta z\varepsilon S}{F\Delta t}CA_{i,j} \quad (15)$$

$$CA_{i-1,j+1} - (\alpha + \beta)CA_{i,j+1} + \alpha CA^*_{i,j+1}$$

$$- CA_{i+1,j+1} = -\beta CA_{i,j} \quad (16)$$

dengan :

$$\alpha = \frac{2\Delta zSkca}{F} \quad \text{dan}$$

$$\beta = \frac{2\Delta z\varepsilon S}{F\Delta t}$$

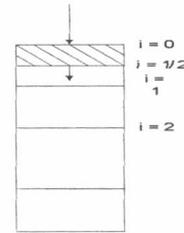
Jika harga $CA^* = HXA$ dimasukkan dalam persamaan (12) maka akan dihasilkan persamaan sebagai berikut :

$$CA_{i-1,j+1} - \left(\alpha + \beta - \frac{\alpha H\gamma}{(1+\gamma H)} \right) CA_{i,j+1} -$$

$$CA_{i+1,j+1} = -\frac{\alpha HXA_{i,j}}{(1+\gamma H)} - \beta CA_{i,j} \quad (17)$$

Persamaan (14) berlaku hanya untuk $i = 1, 2, 3, \dots, N-1$

Persamaan untuk $i = 0$ diperoleh dengan menyusun neraca massa adsorbat di sekitar tempat masuk cairan (limbah)



Gambar 4. Elemen Volume pada $i = 0$

Neraca massa dalam elemen volume setebal $\frac{\Delta z}{2}$ adalah sebagai berikut :

Input – Output = Accumulation

$$FCA_{in} - \left(F \frac{CA_{0,j+1} + CA_{1,j+1}}{2} \right) -$$

$$\left(kcaS \frac{\Delta z}{2} (CA_{0,j+1} - CA^*_{0,j+1}) \right) =$$

$$S \frac{\Delta z}{2} \varepsilon \left(\frac{CA_{0,j+1} - CA_{0,j}}{\Delta t} \right) \quad (18)$$

Persamaan di atas dikalikan dengan $\frac{-2}{F}$ sehingga menjadi :

$$CA_{0,j+1} \left(1 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2} \right) - \frac{\alpha}{2} CA^*_{0,j+1} +$$

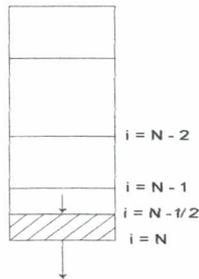
$$CA_{1,j+1} = \frac{\beta}{2} CA_{0,j} + 2CA_{in} \quad (19)$$

Dengan memasukkan harga $CA^* = HXA$ dan persamaan (12) maka persamaan (17) menjadi :

$$\left(1 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2} - \frac{\alpha H\gamma}{2(1+H\gamma)} \right) CA_{0,j+1} + CA_{1,j+1} =$$

$$\frac{\beta}{2} CA_{0,j} + 2CA_{in} + \frac{\alpha HXA_{0,j}}{2(1+\gamma H)} \quad (20)$$

Persamaan untuk $i = N$ diperoleh dengan menyusun neraca massa adsorbat dalam fase cair pada elemen volume setebal $\frac{\Delta z}{2}$ di sekitar $i = N$



Gambar 5. Elemen Volume pada $i = N$

Neraca massa adsorbat pada elemen volume setebal $\frac{\Delta z}{2}$ adalah sebagai berikut:

Input – Output = Accumulation

$$F \left(\frac{C_{AN-1, j+1} + C_{AN, j+1}}{2} \right) - FC_{AN, j+1} - k_c a S \frac{\Delta z}{2} (C_{AN, j+1} - CA^*_{N, j+1}) = S \frac{\Delta z}{2} \varepsilon \left(\frac{C_{AN, j+1} - C_{AN, j}}{\Delta t} \right) \quad (21)$$

Persamaan di atas dikalikan dengan $\frac{-2}{F}$

sehingga menjadi :

$$-CAN - 1, j + 1 + \left(1 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2} \right) CAN, j + 1 - \frac{\alpha}{2} CA^* N, j + 1 = \frac{\beta}{2} CAN, j \quad (22)$$

Dengan memasukkan harga $CA^* = HXA$ dan persamaan (12) maka persamaan (22) menjadi :

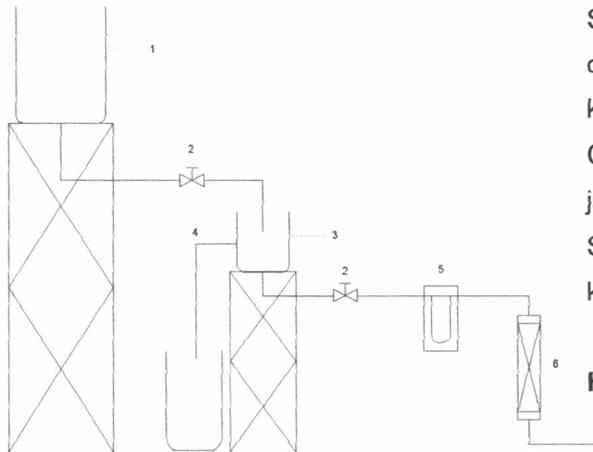
$$-CAN - 1, j + 1 + \left(1 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2} - \frac{\alpha H \gamma}{2(1 + H \gamma)} \right) CAN, j + 1 = \frac{\alpha H X A N, j}{2(1 + H \gamma)} + \frac{\beta}{2} CAN, j \quad (23)$$

Bila harga konsentrasi- konsentrasi CA dan XA dengan indeks waktu j diketahui, maka dengan persamaan (14), (17), (20) dan (24) dapat dihitung harga-harga CA dan XA dengan indeks waktu $j+1$. Karena harga-harga CA dan XA pada saat awal ($j = 0$) diketahui $(CA)_{i,0} = C_{ain}$ dan $(XA)_{i,0} = 0$, maka harga-harga CA dan XA dengan indeks waktu $j = 1$ dapat dihitung. Setelah harga-harga CA dan XA dengan indeks waktu $j = 1$ terhitung, maka harga-harga CA dan XA dengan indeks waktu $j = 2$ dapat dihitung. Demikian seterusnya harga-harga CA dan XA pada berbagai posisi dan waktu dapat dihitung.

Harga $k_c a$ dapat dihitung dengan menggunakan metode Optimasi Golden Section. Dengan cara tersebut dapat dihitung harga $k_c a$ pada berbagai macam debit aliran. Harga $k_c a$ optimum dapat ditentukan dengan membuat selisih kuadrat antara CA hasil perhitungan dengan CA data percobaan yang memberikan nilai jumlah kuadrat kesalahan / SSE (Sum of Squares of Errors) minimum untuk mengecek kesesuaian model matematis yang diajukan.

$$SSE \text{ Minimum} = \sum (C_A \text{ Hitung} - C_A \text{ Data})^2$$

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 6. Rangkaian Alat Penelitian

Keterangan Gambar:

1. Tangki penampung limbah
2. Kran
3. Tangki Pengendali Aliran
4. Aliran Overflow
5. Manometer
6. Kolom Adsorber

Langkah Penelitian

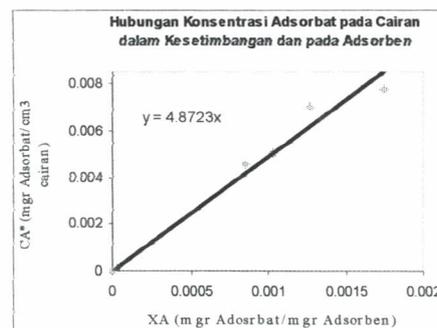
Mula-mula alat penelitian dirangkai seperti gambar 6. Air limbah dari tangki penampung dialirkan ke kolom adsorber dengan kecepatan tertentu. Pada waktu selang tertentu air limbah yang keluar dari kolom adsorber dianalisa kadar chromenya dengan menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry) sehingga diperoleh data konsentrasi chrome keluar kolom sebagai fungsi waktu.

Harga Kca dapat dihitung dengan menggunakan metode optimasi Golden Section. Harga Kca optimum dapat ditentukan dengan membuat jumlah selisih kuadrat antara C_A hasil perhitungan dengan C_A data percobaan yang memberikan nilai jumlah kuadrat kesalahan (SSE/Sum of Square of Errors) minimum untuk mengecek kesesuaian model matematis yang diajukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Harga Konsentrasi Hasil Percobaan Pada Keadaan Kesetimbangan

Berat Adsorben (gram)	C_A^* (mgram A / cm^3)	$X_A \times 10^{-3}$ (mgr A / mgr adsorben)
5	0.0077393665	1.75095
7	0.0070259165	1.271064
9	0.005069113	1.0320786
11	0.0045939223	0.853077



Gambar 7. Grafik Hubungan Kesetimbangan Konsentrasi Adsorbat pada Cairan dan dalam Adsorben

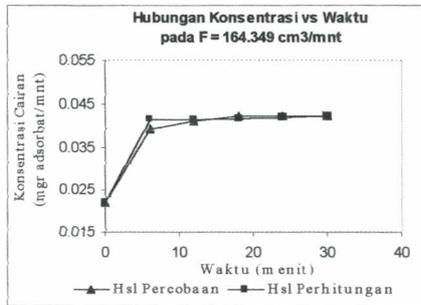
Hubungan Kesetimbangan Konsentrasi Adsorbat pada cairan dan dalam adsorben dapat dianggap mengikuti hukum Henry, dengan persamaan kesetimbangan Henry sebagai berikut :

$$C_A^* = 4.8723 X_A$$

Hasil Perhitungan Dalam Menentukan Harga K_{ca}

Hasil percobaan dan perhitungan harga konsentrasi logam chrome pada suatu waktu dapat disajikan dalam bentuk grafik berikut ini:

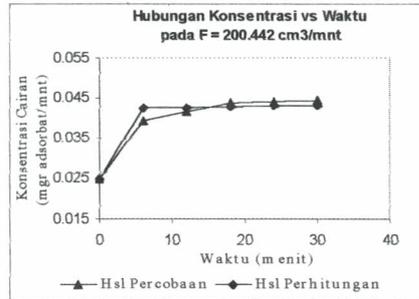
1. Pada Kecepatan Alir Cairan 164.848 cm^3 /menit



Gambar 8. Grafik Hubungan Konsentrasi Adsorbat dalam Cairan dengan Waktu

Ralat Rerata = 1.604353 %
Kca Optimum = 0.449969/menit

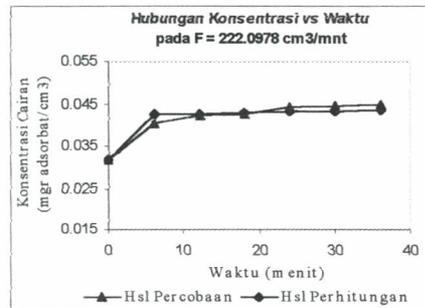
2. Pada Kecepatan Alir Cairan 200.442 cm^3 /menit



Gambar 9. Grafik Hubungan Konsentrasi Adsorbat dalam Cairan dengan Waktu

Ralat Rerata = 3.54451 %
Kca Optimum = 0.479966 / menit

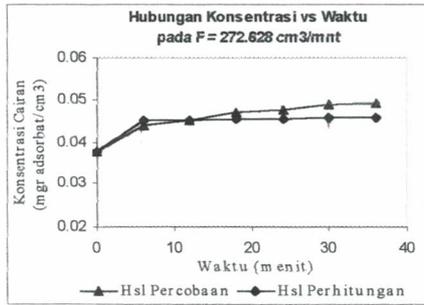
3. Pada Kecepatan Alir Cairan 222.0873 cm^3 /menit



Gambar 10. Grafik Hubungan Konsentrasi Adsorbat dalam Cairan dengan Waktu

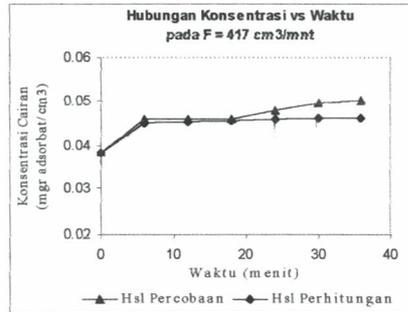
Ralat Rerata = 2.394205 %
Kca Optimum = 0.529962 / menit

4. Pada Kecepatan Alir Cairan 272.628 cm^3 /menit



Gambar 11. Grafik Hubungan Konsentrasi Adsorbat dalam Cairan dengan Waktu

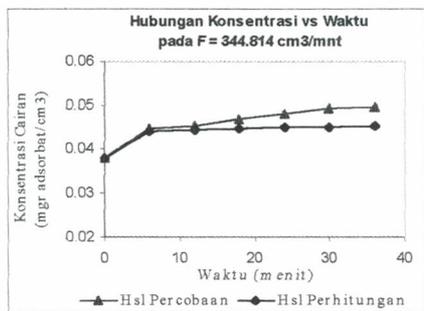
Ralat Rerata = 3.899931 %
 Kca Optimum = 0.54376739 / menit



Gambar 13. Grafik Hubungan Konsentrasi Adsorbat dalam Cairan dengan Waktu

Ralat Rerata = 3.813227 %
 Kca Optimum = 0.679951 / menit

5. Pada Kecepatan Alir Cairan 344.814 cm³/menit



Gambar 12. Grafik Hubungan Konsentrasi Adsorbat dalam Cairan dengan Waktu

Ralat Rerata = 4.869484 %
 Kca Optimum = 0.6580107/menit

6. Pada Kecepatan Alir Cairan 417 cm³/menit

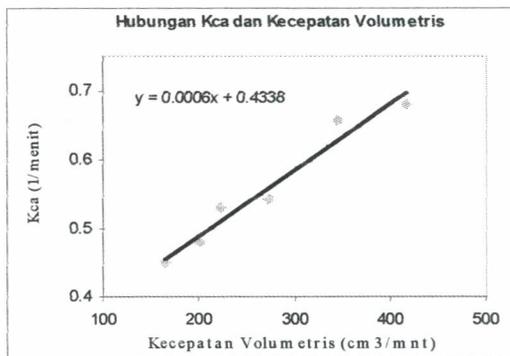
Pengaruh Kecepatan Volumetris terhadap Harga Kca

Hubungan antara Kecepatan Volumetris dengan Kca dapat dilihat pada table di bawah ini :

Tabel 3. Hubungan Antara Kecepatan Volumetris dengan Kca

F Kecepatan Volumetris (cm ³ /mnt)	Kca (1/mnt)
164.349	0.449969
200.442	0.479966
222.0978	0.529962
272.628	0.5437674
344.814	0.6580107
417	0.679951

Jika hubungan antara kecepatan volumetric dan Kca dibuat dalam bentuk grafik maka akan diperoleh gambar sebagai berikut :



Gambar 14. Grafik Hubungan Kecepatan Volumetris dengan Harga Kca

Hubungan antara Kecepatan Volumetris dan Kca kemudian dapat dinyatakan dalam persamaan Kelompok Tak Berdimensi berikut ini :

$$\frac{Kca.Dp^2}{Dv} = K \left[\frac{F.\rho}{Dp.\mu} \right]^c$$

Harga konstanta K dan c dapat dicari dengan cara regresi linier. Dari perhitungan diperoleh harga :
 $K = 0.282889$
 $c = 0.4594$

sehingga persamaan KTD yang diperoleh

adalah :
$$\frac{Kca.Dp^2}{Dv} = 0.282889 \left[\frac{F.\rho}{Dp.\mu} \right]^{0.4594}$$

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa Kecepatan Volumetris dan Kca mempunyai hubungan yang sebanding. Begitu juga jika dilihat dari Kelompok Tak

Berdimensi yang diperoleh, selain dipengaruhi oleh kecepatan alir kca juga dipengaruhi oleh diameter partikel adsorben maupun dipengaruhi oleh sifat fisis cairan. Semakin besar kecepatan volumetric semakin besar pula harga Kca yang didapat, begitu juga sebaliknya. Hal tersebut disebabkan karena pada kecepatan aliran yang besar maka bilangan Reynolds yang didapat juga besar, bilangan Reynolds yang besar menunjukkan bahwa turbulensi aliran yang terjadi juga besar. Adanya turbulensi yang besar tersebut dapat menyebabkan transfer massa yang terjadi juga akan semakin cepat.

PENUTUP

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Pemodelan matematis yang diajukan dapat mewakili peristiwa yang terjadi.
2. Nilai kca yang diperoleh pada berbagai kecepatan aliran bervariasi yaitu berkisar antara 0.449969 – 0.679951 dan dapat dinyatakan dalam bentuk Kelompok Bilangan Tak Berdimensi berikut ini :

$$\frac{Kca.Dp^2}{Dv} = 0.282889 \left[\frac{F.\rho}{Dp.\mu} \right]^{0.4594}$$

Semakin besar kecepatan aliran cairan maka koefisien transfer massa volumetris juga akan semakin besar pula.