

# KOEFISIEN TRANSFER MASSA VOLUMETRIS PADA ADSORPSI LOGAM NIKEL DARI LIMBAH ELEKTROPLATING DALAM KOLOM FIXED BED

Endang Kwartiningsih<sup>1</sup>, Maria Priscilla Ekawati<sup>2</sup>

1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

2) Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

**Abstract:** Today, waste of industries generates contamination to environment, especially river stream. One of them was the electroplating industries. Generally, it still contained nickel metal above the concentration's limit. The government has settled it which was 0,5 mgram of nickel metal/liter of solution. The effect of accumulation nickel in our body was skin allergies, asthma, heart and liver damage. So, we need an effort to reduce nickel metal's concentration before thrown to environment. One of the treatment was an adsorption method. This research's aim was to know the value of mass transfer coefficient on nickel metal adsorption in continue system with active carbon as the adsorbent. The variable that observed was rate of flow. Every period of time, the liquid flowed from the column was analyzed using AAS, so we knew nickel metal concentration after adsorption process. In this research, mathematical model representing the adsorption process was made. The correlation between rate of flow and  $k_c a$  was represented with Non Dimensional Group equation, which is :

$$\frac{KcaDp^2}{Dv} = X_{10} \left[ \frac{F\rho}{Dp\mu} \right]^{0.3773}$$

**Keywords :** electroplating, adsorption, AAS, mass transfer coefficient

## PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi seperti sekarang ini, pencemaran terhadap sumber-sumber air terjadi dimana-mana. Industri-industri yang ada banyak menghasilkan limbah cair yang biasanya dibuang di aliran sungai dengan konsentrasi pencemaran di atas batas konsentrasi minimum yang telah ditetapkan. Salah satu industri yang menghasilkan limbah cair adalah industri elektroplating.

Limbah cair industri elektroplating berasal dari air bilasan, larutan pembersih maupun larutan plating yang tidak dapat digunakan lagi. Limbah ini ternyata masih mengandung zat-zat berbahaya yang salah satunya adalah logam nikel. Kandungan nikel dalam limbah cair dapat menyebabkan iritasi pada kulit, asma, gangguan ginjal dan jantung jika terakumulasi di dalam tubuh.

Sebelum dibuang melalui aliran sungai, maka limbah tersebut perlu diolah terlebih dahulu agar logam nikel yang terkandung di dalamnya dapat berkurang. Oleh karena itu diadakanlah suatu penelitian yang dapat mengurangi kandungan logam nikel dalam limbah

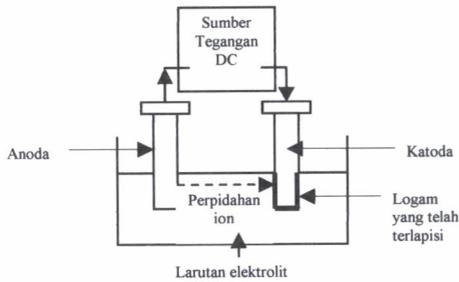
yaitu dengan cara proses adsorpsi menggunakan karbon aktif.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh kecepatan aliran limbah terhadap koefisien transfer massa volumetris ( $k_c a$ ), serta mencari persamaan hubungan kelompok tak berdimensi yang berpengaruh pada koefisien transfer massa volumetris sehingga dapat digunakan untuk perancangan alat adsorber pada skala yang lebih besar (industri).

## 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 kedalam larutan elektrolit. Logam yang akan dilapisi (benda kerja) berlaku sebagai katoda dan dihubungkan dengan kutub negatif dari sumber tegangan. Jika sumber tegangan dinyalakan maka arus akan mengalir melalui larutan elektrolit, sehingga menyebabkan anoda melarut dan

selanjutnya menempel pada katoda membentuk suatu lapisan logam.



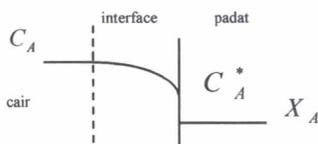
Gambar 1. Prinsip Elektroplating

Proses elektroplating krom dilakukan dengan diawali proses pelapisan perantara yaitu pelapisan tembaga dan nikel. Pelapisan logam nikel dilakukan dengan menggunakan nikel sebagai anodanya dan larutan elektrolitnya terdiri dari nikel klorit, nikel sulfat, boric acid dan air.

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. Penyerapan zat dari larutan, mirip dengan penyerapan gas oleh zat padat. (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:

- 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



Gambar 2. Mekanisme Transfer Massa

Perpindahan massa dari cairan dalam pori ke dinding pori (proses c) umumnya berlangsung sangat 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 atau proses b atau keduanya. Jika butir-butir sangat kecil (seperti serbuk) maka difusi dari permukaan ke dalam butir (proses b) berlangsung relatif 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 relatif sangat lambat, sehingga yang mengontrol adalah proses difusinya.

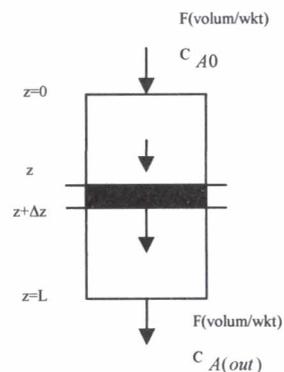
Proses adsorpsi yang ditinjau menggunakan butir-butir adsorben berukuran relatif kecil sehingga yang mengontrol kecepatan proses adsorpsi adalah perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir yang kecepatannya dapat didekati dengan persamaan :

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

Misal hubungan kesetimbangan adsorpsi dapat didekati dengan persamaan yang mirip hukum Henry

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

Aliran dianggap plug flow. Ingin disusun persamaan - persamaan matematisnya 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  $\Delta z$ :

Rate of input – rate of output = rate of accumulation

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

$$\frac{\frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_{z+\Delta z} - \frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_z}{\Delta z} - \frac{F}{SD_e} \cdot \frac{C_{Az+\Delta z} - C_{Az}}{\Delta z} - \frac{k_c \cdot a}{D_e} (C_A - C_A^*) = \frac{\varepsilon}{D_e} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (4)$$

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

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

Jlka 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  $\Delta z$  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  $\Delta t$  dan batas-batas interval diberi indeks  $j = 0, 1, 2, 3, \dots$

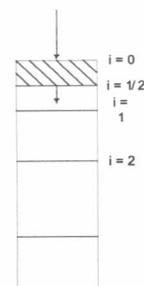
Dengan sistem indeks tersebut  $C_A(z, t)$  dapat ditulis  $C_A(i, j)$ . Sehingga dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$CA_{i-1, j+1} - \left( \alpha + \beta - \frac{\alpha H \gamma}{(1 + \gamma H)} \right) CA_{i, j+1} - CA_{i+1, j+1} = - \frac{\alpha H X_{A, i, j}}{(1 + \gamma H)} - \beta CA_{i, j} \quad (9)$$

Persamaan (9) 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). Neraca massa dihitung dalam elemen

volum setebal  $\frac{\Delta z}{2}$  di sekitar  $i = 0$ .



Gambar 4. Elemen Volume pada  $i$

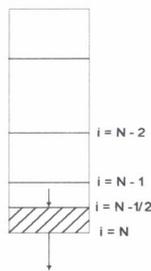
Diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\left(1 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2} - \frac{\alpha H \gamma}{2(1 + H \gamma)}\right) C_{A0, j+1} + C_{A1, j+1} = \frac{\beta}{2} C_{A0, j} + 2C_{Ain} + \frac{\alpha}{2} \frac{HX_{A0, j}}{(1 + H)}$$

(10)

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

$\frac{\Delta z}{2}$  di sekitar  $i = N$



Gambar 5. Elemen Volume pada  $i = N$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah sebagai berikut:

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

(11)

dengan :

$$\alpha = \frac{2 \Delta z S k_{ca}}{F} \quad \beta = \frac{2 \Delta z \varepsilon S}{F \Delta t}$$

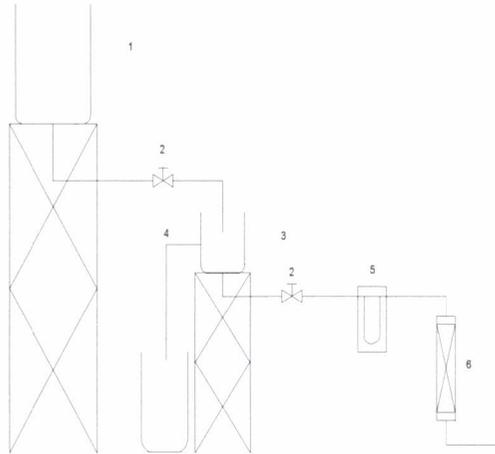
$$\gamma = \frac{k_{ca} \Delta t}{\rho b}$$

Harga  $k_{ca}$  dapat dicari dengan menggunakan metode Optimasi Golden Section. Dengan cara tersebut dapat dihitung harga  $k_{ca}$  pada berbagai macam debit aliran. Harga  $k_{ca}$  optimum dapat ditentukan dengan membuat selisih kuadrat antara  $C_A$  hasil perhitungan dengan  $C_A$  data percobaan yang memberikan nilai jumlah kuadrat kesalahan (*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

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi air limbah elektroplating dan karbon aktif. Sedangkan alat-alat yang digunakan meliputi kolom, tangki penampungan limbah, tangki pengendalian aliran, dan stopwatch.



Gambar 6. Rangkaian Alat Penelitian

Keterangan Gambar:

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

Cara penelitian:

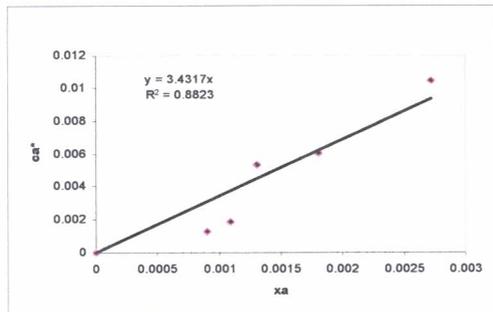
Alat penelitian dirangkai seperti Gambar 6. Air limbah dari tangki penampungan dialirkan menuju kolom adsorber dengan kecepatan tertentu. Pada selang waktu tertentu air limbah yang keluar dari kolom adsorber dianalisa kadar nikelnya dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) sehingga diperoleh data konsentrasi nikel keluar kolom sebagai fungsi waktu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan dalam menentukan persamaan kesetimbangan Henry disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Harga Konsentrasi Hasil Percobaan Pada Keadaan Kesetimbangan

Berat Adsorben (gram)	$X_A$ (mgr A / mgr adsorben)	$C_A^*$ (mgram A / cm <sup>3</sup> )
11	$9.087 \times 10^{-4}$	$1.2687 \times 10^{-3}$
9	$1.0966 \times 10^{-3}$	$1.8998 \times 10^{-3}$
7	$1.3114 \times 10^{-3}$	$5.3508 \times 10^{-3}$
5	$1.8087 \times 10^{-3}$	$6.0302 \times 10^{-3}$
3	$2.7221 \times 10^{-3}$	$10.4174 \times 10^{-3}$

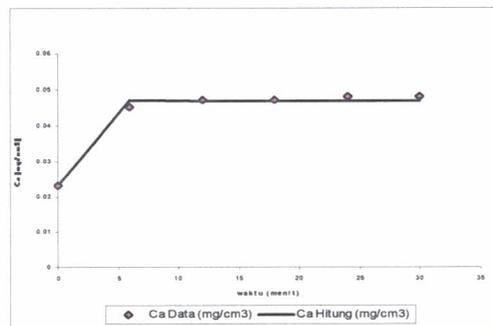


Gambar 7. Grafik Hubungan Konsentrasi Nikel pada cairan dalam Keadaan Setimbang dan Konsentrasi Nikel dalam Adsorben

Berdasarkan gambar grafik di atas, diperoleh persamaan kesetimbangan Henry sebagai berikut :

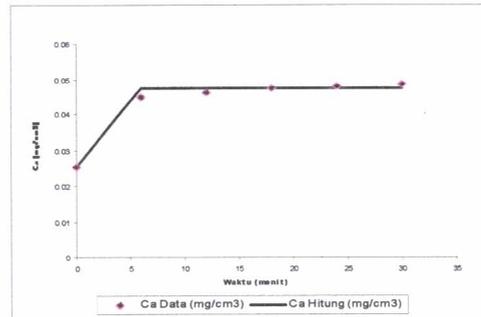
$$C_A^* = 3,4317 X_A$$

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



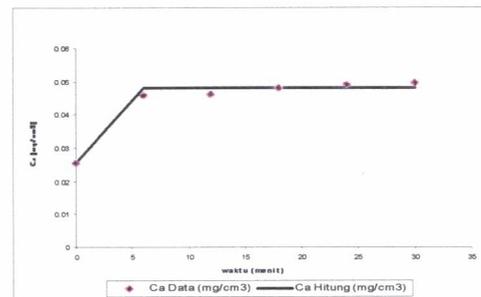
Gambar 8. Grafik Hubungan Konsentrasi Nikel dalam Cairan dengan Waktu Pada Kecepatan 155,634 cm<sup>3</sup>/menit

Ralat Rerata = 1.9745 %  
Kca Optimum = 0.0500 / menit



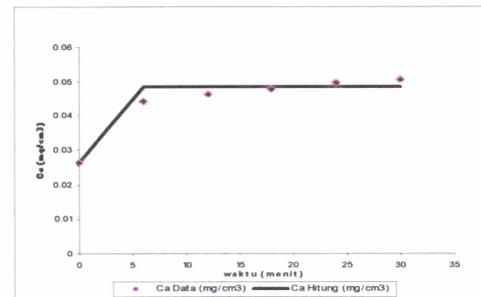
Gambar 9. Grafik Hubungan Konsentrasi Nikel dalam Cairan dengan Waktu Pada Kecepatan 255,276 cm<sup>3</sup>/menit

Ralat Rerata = 2,5733 %  
Kca Optimum = 0.0743 / menit



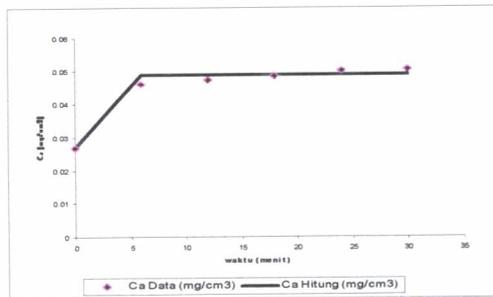
Gambar 10. Grafik Hubungan Konsentrasi Nikel dalam Cairan dengan Waktu Pada Kecepatan 305,087 cm<sup>3</sup>/menit

Ralat Rerata = 2,8404 %  
Kca Optimum = 0.0743 / menit



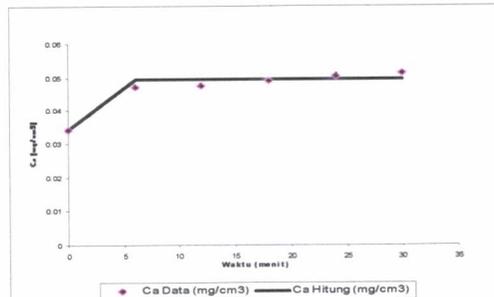
Gambar 11. Grafik Hubungan Konsentrasi Nikel dalam Cairan dengan Waktu Pada Kecepatan 354,918 cm<sup>3</sup>/menit

Ralat Rerata = 4.2917 %  
Kca Optimum = 0.0750 / menit



Gambar 12. Grafik Hubungan Konsentrasi Nikel dalam Cairan dengan Waktu Pada Kecepatan 454.56 cm<sup>3</sup>/menit

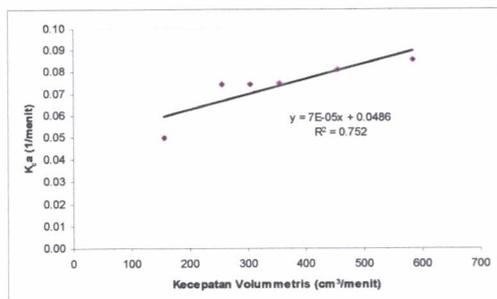
Ralat Rerata = 3,0894 %  
Kca Optimum = 0.0809 / menit



Gambar 13. Grafik Hubungan Konsentrasi Nikel dalam Cairan dengan Waktu Pada Kecepatan 584.0946 cm<sup>3</sup>/menit

Ralat Rerata = 3,1017 %  
Kca Optimum = 0.0856 / menit

Dari hasil perhitungan di atas dapat dilihat hubungan kecepatan volumetris dengan Kca pada grafik di bawah ini:



Gambar 14. Grafik Hubungan Koefisien Transfer Massa Volumetris dengan Kecepatan Volumetris

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

$$\frac{KcaDp^2}{Dv} = K \left[ \frac{F\rho}{Dp\mu} \right]^z$$

Harga konstanta K dan z dapat dicari dengan cara regresi linier. Dari perhitungan, diperoleh harga

$$K = 1,06422 \times 10^{-4}$$

$$z = 0,3773$$

sehingga persamaan KTD yang diperoleh adalah:

$$\frac{KcaDp^2}{Dv} = 1,06422 \times 10^{-4} \left[ \frac{F\rho}{Dp\mu} \right]^{0,3773}$$

$$\text{Ralat} = 0,8458 \%$$

Dari Gambar 14 serta persamaan Kelompok Tak Berdimensi yang diperoleh, dapat dilihat bahwa nilai kca berbanding lurus dengan kecepatan volumetris. Hal tersebut disebabkan karena makin besar kecepatan aliran maka turbulensi yang terjadi makin besar pula, yang ditandai dengan besarnya nilai Bilangan Reynolds yang terjadi. Adanya turbulensi yang besar tersebut dapat menyebabkan transfer massa yang terjadi juga akan semakin cepat.

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Nilai Koefisien Transfer Massa Volumetris (kca) pada adsorpsi logam nikel dari limbah cair electroplating menggunakan karbon aktif dalam kolom fixed bed berbanding lurus dengan kecepatan aliran limbah yang masuk ke dalam kolom.
2. Nilai kca yang diperoleh pada berbagai kecepatan aliran dapat dinyatakan dalam bentuk Kelompok Tak Berdimensi berikut ini :

$$\frac{KcaDp^2}{Dv} = 1,06422 \times 10^{-4} \left[ \frac{F\rho}{Dp\mu} \right]^{0,3773}$$

dengan ralat = 0,8458%

## DAFTAR DAN ARTI LAMBANG

- a = Luas permukaan efektif partikel adsorben per unit volume tumpukan bed, cm<sup>2</sup> / cm<sup>3</sup>  
CA = Konsentrasi adsorbat dalam cairan, mgram adsorbat/cm<sup>3</sup> cairan

$C_A^*$	=	Konsentrasi adsorbat dalam cairan yang setimbang dengan konsentrasi adsorbat dalam adsorben, mgram adsorbat/cm <sup>3</sup> cairan
$C_{A0}$	=	Konsentrasi adsorbat dalam cairan mula-mula, mgram adsorbat/cm <sup>3</sup> cairan
$d_p$	=	Diameter partikel adsorben, cm
$d_k$	=	Diameter kolom, cm
$D_v$	=	Diffusivitas, cm <sup>2</sup> /menit
$D_e$	=	Diffusitas efektif, cm <sup>2</sup> /menit
$F$	=	Kecepatan volumetric aliran cairan, cm <sup>3</sup> /menit
$H$	=	Ketinggian kolom, cm
$k_c$	=	Koefisien transfer massa, cm/menit
$k_{c,a}$	=	Koefisien transfer massa volumetris, 1/menit
$S$	=	Luas permukaan kolom, cm <sup>2</sup>
$XA$	=	Konsentrasi adsorbat dalam adsorben, mgram adsorbat/mgram adsorben
$\xi$	=	Porositas, cm <sup>3</sup> ruang kosong dalam tumpukan/cm <sup>3</sup> volume tumpukan bed
$\mu$	=	Viskositas cairan, mgram adsorbat/cm. menit
$\rho$	=	Densitas cairan, mgram cairan/cm <sup>3</sup> cairan
$\rho_b$	=	Bulk Density, mgram adsorben/cm <sup>3</sup> volume tumpukan bed

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alberty, R. A., and Daniels, F., 1992, *Kimia Fisika*, ed V, Alih Bahasa Surdia, N. M., dkk, Erlangga, Jakarta
- Hartomo, A. J. dan Kaneko, T., 1992, *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*, ANDI Offset, Yogyakarta
- Letterman, R. D., 1999, *Water Quality & Treatment*, McGraw-Hill, New York
- Prasetya, A. dan Sediawan, W. B., 1994, *Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia*, ANDI, Yogyakarta
- Sukardjo, Drs, 1985, *Kimia Anorganik*, Penerbit Bina Aksara, Yogyakarta
- Wardhana, W. A., 1995, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, ANDI, Yogyakarta
- [www.google.com/](http://www.google.com/) Nickel Electroplating
- [www.google.com/](http://www.google.com/) Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa
- [www.google.com/](http://www.google.com/) Volume atomic of Nickel