

# ADSORBSI LOGAM Cu DARI LIMBAH ELEKTROPLATING MENGUNAKAN KARBON AKTIF DALAM KOLOM FIXED BED

Endang Kwartiningsih\* dan Nanda Setiarini\*\*

\*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

\*\*\*) Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

**Abstract** : Waste of industries generates contamination to environment, especially river stream. One of them was the waste of electroplating industries. Generally, it still contained copper metal above the concentration's limit. The government has settled it which was 0.1 mg/ml of copper/liter of solution. The effects of accumulation copper in human body were gastrointestinal irritation, liver and kidney damage. So, it was needed an effort to reduce copper concentration before thrown to environment. One of the treatment was an adsorption method. This research aim's was to know the value of mass transfer coefficient of copper adsorption. This research was conducted in fixed bed column with active carbon as adsorbent. The variable observed was rate of flow. Every period of time, the liquid flowed from the column was analyzed using AAS, so it was known copper 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 :

$$\frac{Kca \cdot Dp^2}{Dv} = 0.5676 \left[ \frac{F \cdot \rho}{Dp \cdot \mu} \right]^{0.1547}$$

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

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat mendorong pertumbuhan industri yang memiliki andil besar pada pencemaran lingkungan. Industri-industri yang berdiri banyak menghasilkan limbah cair yang memiliki konsentrasi pencemaran diatas batas minimum yang telah ditetapkan. Biasanya limbah cair ini dibuang langsung ke aliran sungai tanpa pengolahan yang memadai. Salah satu dari industri ini adalah industri electroplating.

Limbah cair industri elektroplating berasal dari air bilasan, larutan pembersih maupun larutan plating yang telah jenuh dan tidak dapat digunakan lagi. Limbah ini masih mengandung zat-zat berbahaya yang salah satunya adalah logam tembaga. Kandungan tembaga dalam limbah cair dapat menyebabkan iritasi gastrointestinal (saluran pencernaan dari lambung).

Limbah electroplating harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang melalui aliran sungai agar kandungan logam tembaga didalamnya berkurang. Oleh

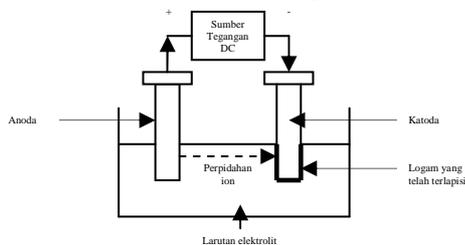
karena itu diadakanlah suatu penelitian yang dapat mengurangi kandungan logam tembaga dalam limbah yaitu dengan cara proses adsorpsi menggunakan karbon aktif.

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 negative 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 pada benda kerja. Pelapisan logam tembaga dilakukan dengan menggunakan tembaga sebagai anodanya dan larutan elektrolitnya terdiri dari potassium sianida (KCN), asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dan air.

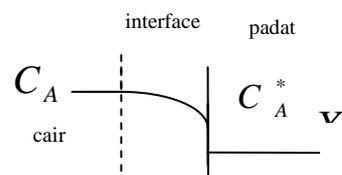
Adsorpsi adalah suatu proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang harus dipisahkan ditarik oleh permukaan sorben padat dan diikat oleh gaya-gaya yang bekerja pada permukaan tersebut. Penyerapan zat dari larutan, mirip dengan penyerapan gas oleh zat padat. (Sukardjo, Drs, 1985)

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

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 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.



**Gambar 2. Mekanisme transfer massa**

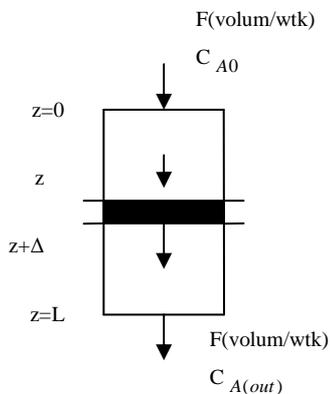
Proses adsorpsi yang ditinjau menggunakan butir-butir adsorben berukuran relatif kecil sehingga yang mengontrol kecepatan proses adsorpsi adalah perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir yang kecepatannya dapat didekati dengan persamaan:

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

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

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

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*

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

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

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*

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

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  $\Delta z$  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  $j = 0, 1, 2, 3, \dots$

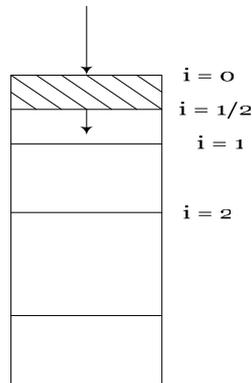
Dengan sistem indeks tersebut  $C_A(z, t)$  dapat ditulis  $C_A(i, j)$ . Sehingga dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

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

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  $i = 0$ .



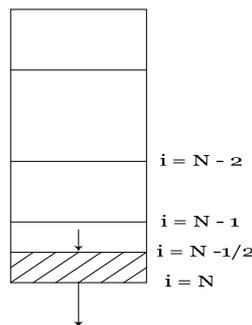
**Gambar 4. Elemen volume pada  $i = 0$**

Diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\left(1 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2} - \frac{\alpha H \gamma}{2(1 + H \gamma)}\right) CA_{0,j+1} + CA_{1,j+1} = \frac{\beta}{2} CA_{0,j} + 2CA_{in} + \frac{\alpha}{2} \frac{HX_{A0,j}}{(1 + \gamma H)} \quad (10)$$

Persamaan untuk  $i = N$  diperoleh dengan menyusun neraca massa adsorbat dalam fase cair pada elemen

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



**Gambar 5. Elemen volume pada  $i = N$**

Persamaan akhir yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$-CA_{N-1,j+1} + \left(1 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2} - \frac{\alpha H \gamma}{2(1 + H \gamma)}\right) CA_{N,j+1} = \frac{\alpha}{2} \frac{HX_{AN,j}}{(1 + H \gamma)} + \frac{\beta}{2} CA_{N,j} \quad (11)$$

dengan :

$$\alpha = \frac{2 \Delta z S k_{ca}}{F}$$

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

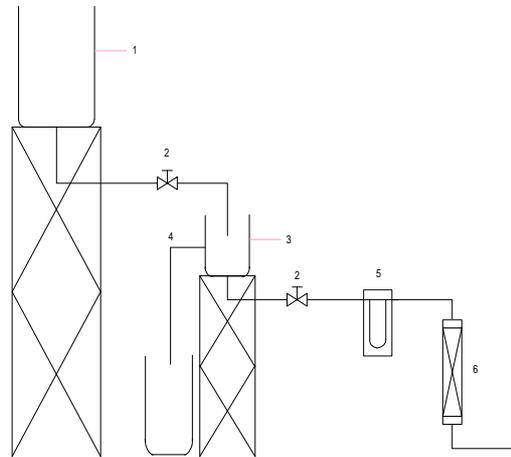
$$\gamma = \frac{k_{ca} \Delta t}{\rho b}$$

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 adalah air limbah elektroplating dan karbon aktif. Alat-alat yang digunakan meliputi kolom, tangki penampungan limbah, tangki pengendalian aliran, dan stopwatch.



Keterangan Gambar:

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

**Gambar 6. Rangkaian alat penelitian**

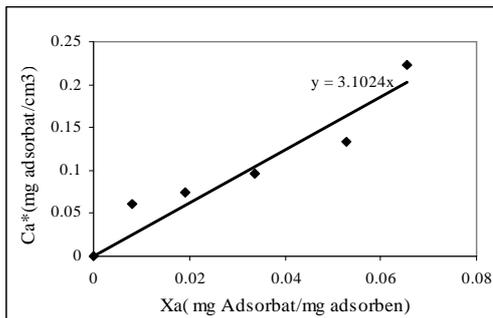
Alat penelitian dirangkai seperti gambar 6. Air limbah dari tangki penampungan dialirkan menuju kolom adsorber dengan kecepatan tertentu. Pada selang waktu tertentu air limbah yang keluar dari kolom adsorber dianalisa kadar tembaga-nya dengan menggunakan Atomic Absorbtion Spectrophotometry (AAS) sehingga diperoleh data konsentrasi tembaga keluar kolom sebagai fungsi waktu.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil perhitungan dalam menentukan persamaan kesetimbangan Henry disajikan dalam Tabel 1. Konsentrasi limbah mula-mula adalah  $3.3979 \times 10^{-3} \text{ mg/cm}^3$ . Pengambilan sample pada  $t=0$  adalah pada saat sample pertama kali keluar dari kolom.

**Tabel 1. Harga konsentrasi hasil percobaan pada keadaan kesetimbangan**

Berat adsorben (gram)	$X_A$ (mgr A / mgr adsorben)	$C_A^*$ (mgram A / $\text{cm}^3$ )
11	$6.1633 \times 10^{-5}$	$0.8166 \times 10^{-5}$
9	$7.5087 \times 10^{-5}$	$1.9033 \times 10^{-5}$
7	$9.612 \times 10^{-5}$	$3.3767 \times 10^{-5}$
5	$1.3381 \times 10^{-4}$	$5.2733 \times 10^{-5}$
3	$2.2217 \times 10^{-4}$	$6.54 \times 10^{-5}$

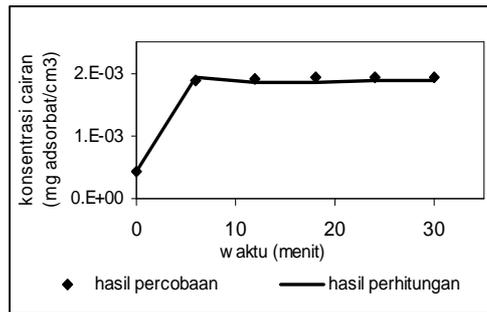


**Gambar 7. Grafik hubungan konsentrasi tembaga pada cairan dan konsentrasi tembaga dalam adsorben dalam keadaan setimbang**

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

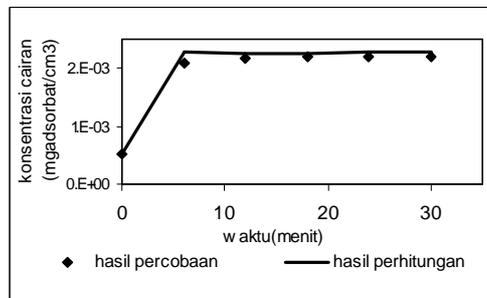
$$C_A^* = 3.1024 X_A$$

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



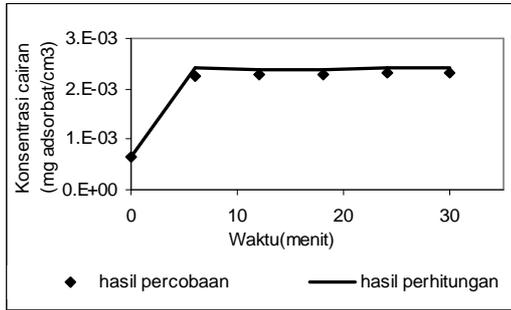
**Gambar 8. Grafik hubungan konsentrasi tembaga dalam cairan keluar kolom dengan waktu pada kecepatan  $155,634 \text{ cm}^3/\text{menit}$**

Ralat Rerata = 3.2184 %  
Kca Optimum = 0.3457 / menit



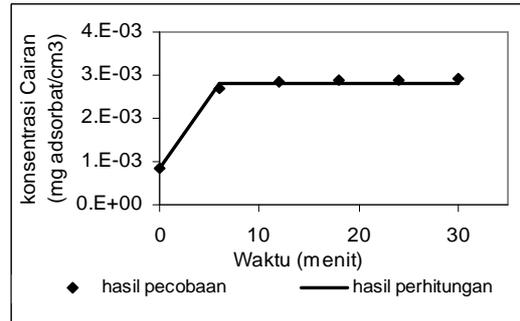
**Gambar 9. Grafik hubungan konsentrasi tembaga dalam cairan keluar kolom dengan waktu pada kecepatan  $255,276 \text{ cm}^3/\text{menit}$**

Ralat Rerata = 4.3909 %  
Kca Optimum = 0.3850 / menit



**Gambar 10. Grafik hubungan konsentrasi tembaga dalam cairan keluar kolom dengan waktu pada kecepatan 305,087 cm<sup>3</sup>/menit**

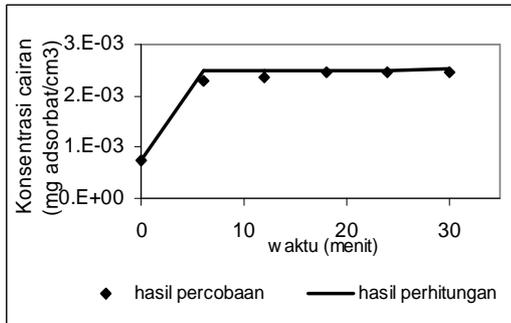
Ralat Rerata = 4.9813 %  
Kca Optimum = 0.3968 / menit



**Gambar 13. Grafik hubungan konsentrasi tembaga dalam cairan keluar kolom dengan waktu pada kecepatan 584,0946 cm<sup>3</sup>/menit**

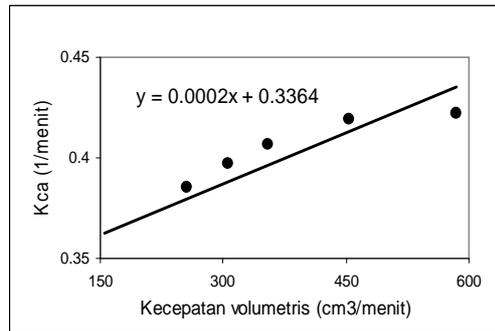
Ralat Rerata = 3.2487 %  
Kca Optimum = 0.4221 / menit

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



**Gambar 11. Grafik hubungan konsentrasi tembaga dalam cairan keluar kolom dengan waktu pada kecepatan 354,918 cm<sup>3</sup>/menit**

Ralat Rerata = 3.8253 %  
Kca Optimum = 0.4067 / menit



**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 berikut ini :

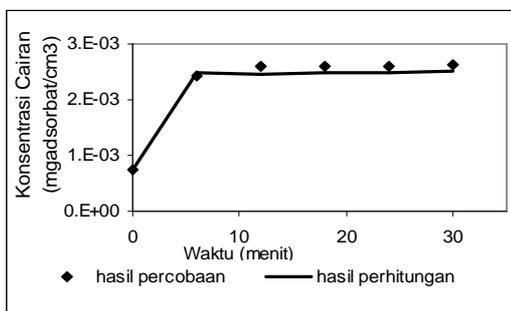
$$\frac{Kca \cdot Dp^2}{Dv} = K \left[ \frac{F \cdot \rho}{Dp \cdot \mu} \right]^z$$

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

$$K = 0.5676$$

$$z = 0,1547$$

sehingga persamaan KTD yang diperoleh



**Gambar 12. Grafik hubungan konsentrasi tembaga dalam cairan keluar kolom dengan waktu pada kecepatan 454,56 cm<sup>3</sup>/menit**

Ralat Rerata = 4.2238 %  
Kca Optimum = 0.4149 / menit

adalah

$$\frac{Kca \cdot Dp^2}{Dv} = 0.5676 \left[ \frac{F \cdot \rho}{Dp \cdot \mu} \right]^{0.1547}$$

$$\text{Ralat} = 0,9412$$

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

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

$$\frac{Kca \cdot Dp^2}{Dv} = 0.5676 \left[ \frac{F \cdot \rho}{Dp \cdot \mu} \right]^{0.1547}$$

$$\text{dengan ralat} = 0,9412$$

#### DAFTAR DAN ARTI LAMBANG

- a = Luas permukaan efektif partikel adsorben per unit volume tumpukan bed,  $\text{cm}^2 / \text{cm}^3$
- CA = Konsentrasi adsorbat dalam cairan,  $\text{mgram adsorbat}/\text{cm}^3$  cairan
- CA\* = Konsentrasi adsorbat dalam cairan yang setimbang dengan konsentrasi adsorbat dalam adsorben,  $\text{mgram adsorbat}/\text{cm}^3$  cairan
- CA<sub>0</sub> = Konsentrasi adsorbat dalam cairan mula-mula,  $\text{mgram}$

adsorbat/ $\text{cm}^3$  cairan

- dp = Diameter partikel adsorben, cm
- dk = Diameter kolom, cm
- Dv = Diffusivitas,  $\text{cm}^2/\text{menit}$
- De = Diffusitas efektif,  $\text{cm}^2/\text{menit}$
- F = Kecepatan volumetric aliran cairan,  $\text{cm}^3/\text{menit}$
- H = Ketinggian kolom, cm
- $k_c$  = Koefisien transfer massa,  $\text{cm}/\text{menit}$
- $k_c a$  = Koefisien transfer massa volumetris,  $1/\text{menit}$
- S = Luas permukaan kolom,  $\text{cm}^2$
- XA = Konsentrasi adsorbat dalam adsorben,  $\text{mgram adsorbat}/\text{mgram adsorben}$
- $\xi$  = Porositas,  $\text{cm}^3$  ruang kosong dalam tumpukan/ $\text{cm}^3$  volume tumpukan bed
- $\mu$  = Viskositas cairan,  $\text{mgram adsorbat}/\text{cm} \cdot \text{menit}$
- $\rho$  = Densitas cairan,  $\text{mgram cairan}/\text{cm}^3$  cairan
- pb = Bulk Density,  $\text{mgram adsorben}/\text{cm}^3$  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/) Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa