

## Hubungan Koefisien Perpindahan Massa Dengan Bilangan Reynolds Pada Adsorpsi Logam Cu Menggunakan Adsorben Abu Sekam Padi

Desi\_Heltina, Sunarno, M. Iwan Fermi , Melda Julianti  
Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau  
Kampus Binawidya Km. 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293  
desiheltina@yahoo.co.id

### Abstrak

Logam Tembaga (Cu) merupakan salah satu jenis logam berat yang bersifat toksik, yang keberadaannya di lingkungan apabila melewati ambang batas yang ditentukan dapat menimbulkan pencemaran atau rusaknya lingkungan. Salah satu hal yang perlu dilakukan dalam pengendalian dan pemantauan dampak lingkungan akibat pencemaran logam Cu ini adalah dengan proses adsorpsi menggunakan abu sekam padi. Penelitian adsorpsi ini dapat memberikan kontribusi dalam penanganan limbah khususnya logam Cu. Beberapa hal yang dapat dipelajari dari proses adsorpsi salah satunya mempelajari koefisien perpindahan massa yang merupakan hal penting untuk data perancangan kolom adsorpsi logam Cu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan koefisien perpindahan massa terhadap variabel yang mempengaruhinya dengan bilangan Sherwood. Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan adsorbat larutan logam Cu 9,988 ppm dan adsorben abu sekam padi dengan ukuran 40 mesh dan tinggi unggun 5 cm.. Variabel penelitian adalah variasi laju alir adsorbat sebesar 5,32 ml/s; 8,21 ml/s; 11,34 ml/s Larutan logam Cu keluaran kolom ditampung pada waktu tertentu, dan dianalisa dengan AAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara koefisien perpindahan massa dengan variabel yang mempengaruhinya dalam bilangan Sherwood ditunjukkan pada persamaan  $Sh = 201,542 Re^{1,665}$

**Kata kunci:** Adsorpsi, Bilangan Reynolds Bilangan Sherwood, Koefisien perpindahan massa, Logam Cu

### 1. Pendahuluan

Logam berat pencemar lingkungan terdiri dari beberapa unsur yang dikategorikan atas pencemar prioritas tinggi, salah satunya adalah logam berat tembaga (Cu). Kontaminasi logam berat Cu di lingkungan sebagai dampak negatif dari perkembangan industri yang merupakan salah satu masalah besar dunia. Salah satu metode untuk mengatasi pencemaran logam berat Cu adalah dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben dari limbah pertanian.

Sekam padi merupakan limbah pertanian yang sangat melimpah di Indonesia saat ini, digunakan sebagai bahan adsorben dalam proses adsorpsi tembaga dengan mengubahnya terlebih dahulu menjadi abu. Beberapa peneliti (Ong, dkk., 2007; Ganieva, dkk., 2008; Lestiasari., 2009) telah mencoba menggunakan abu sekam padi sebagai adsorben penjerap limbah logam berat.

Abu sekam padi mengandung silika sebagai komponen utamanya, dimana kandungan silika ini

mencapai 86.9% - 97.3% basis kering. Silika yang terdapat dalam sekam ada dalam bentuk amorf terhidrat [Genieva, 2008]. Kandungan silika ( $SiO_2$ ) yang tinggi dalam abu sekam padi mengindikasikan potensi besar yang dimiliki abu sekam padi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben.

Penelitian mengenai adsorpsi logam berat sudah banyak dilakukan dengan berbagai tinjauan metoda adsorpsi antara lain dengan menggunakan pendekatan kesetimbangan adsorpsi. Menurut Volensky dan Varadarajan, dkk., dalam Danarto dan Artati [2005] perpindahan massa logam berat dalam cairan ke adsorben sangat mempengaruhi kecepatan adsorpsi secara keseluruhan. Salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan perpindahan massa adalah koefisien perpindahan massa, yang merupakan hal penting untuk data perancangan dan *scale-up* kolom adsorpsi. Untuk itu maka penelitian ini ditujukan untuk mempelajari koefisien perpindahan massa logam Cu dalam adsorben abu sekam padi

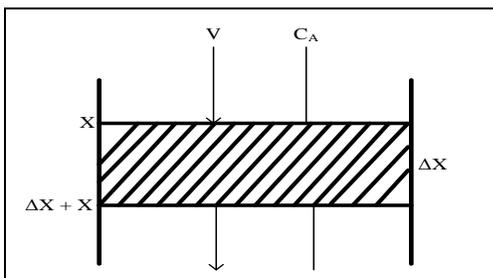
Pada proses adsorpsi, perpindahan massa yang terjadi adalah melalui mekanisme difusi molekul pada larutan ke permukaan padatan. Diffusivitas larutan didekati dengan persamaan empiris Wilke Chang sebagai berikut [Geankoplis, 1978]

$$D_{AB} = 1,173 \times 10^{-16} \frac{(\Phi M_B)^{0,5} T}{\mu_B V_A^{0,6}} \dots\dots\dots(1)$$

Pada penelitian ini, proses perpindahan massa yang terjadi dari cairan ke permukaan adsorben. Karena ukuran adsorben yang sangat kecil sehingga yang mengontrol kecepatan proses adsorpsi adalah perpindahan massa dari cairan ke permukaan adsorben yang kecepatannya dapat didekati dengan persamaan berikut [Sediawan dan Prasetya, 1997] :

$$N_A = k_c (C_A - C_A^*) \dots\dots\dots(2)$$

Untuk menghitung koefisien perpindahan massa dalam kolom, maka dapat disusun neraca massa dalam kolom pada elemen volum (A.Δx) [Sediawan dan Prasetya, 1997].



Gambar 1. Elemen volum dalam kolom bahan isian

Rate of Input – Rate of Output = Rate of Accumulation

$$v \cdot A \cdot C_A |_x - v \cdot A \cdot C_A |_{x+\Delta x} + k_c (C_A - C_A^*) \cdot A \cdot \Delta x = 0 \dots(3)$$

Persamaan diatas dibagi A. Δx, diambil limit Δx → 0 maka diperoleh :

$$v \frac{dC_A}{dx} = k_c (C_A - C_A^*) \dots\dots\dots(4)$$

Persamaan diatas diintegrasikan dengan kondisi batas cairan masuk dan cairan keluar akan diperoleh persamaan, untuk C<sub>A0</sub> = 0 ; x<sub>0</sub> = 0 dan x<sub>1</sub> = h yaitu :

$$\int \frac{dC_A}{C_A - C_A^*} = \frac{k_c}{v} \int dx \dots\dots\dots(5)$$

$$k_c = \frac{v}{h} \ln \left[ \frac{C_A^*}{C_A - C_A^*} \right] \dots\dots\dots(6)$$

Dalam penelitian ini, diperkirakan variabel – variabel yang berpengaruh terhadap koefisien perpindahan massa pada kolom antara lain : diffusivitas (D<sub>AB</sub>), viskositas (μ), densitas (ρ), diameter kolom (Dt), laju alir (v) [King, 1982]. Hubungan antar kelompok tak berdimensi menggunakan cara Phi Buckingham aka menjadi persamaan yaitu :

$$\left[ \frac{k_c Dt^2}{D_{AB}} \right] = K \left[ \frac{\rho v Dt}{\mu} \right]^a \left[ \frac{\mu}{D_{AB} \cdot \rho} \right]^b \left[ \frac{h}{Dt} \right]^c \dots(7)$$

atau dapat dituliskan :

$$[Sh] = K [Re]^a [Sc]^b \left[ \frac{h}{Dt} \right]^c \dots\dots\dots(8)$$

Dalam penelitian ini, dianggap proses berlangsung secara isothermal (bilangan Schmidt tetap) dan ratio tinggi unggun dengan diameter kolom dianggap tetap maka persamaan (8) dapat disederhanakan menjadi :

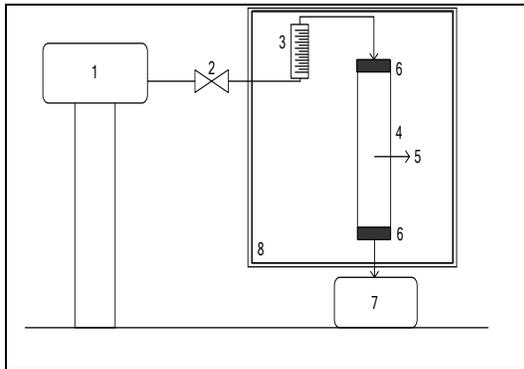
$$[Sh] = K [Re]^a \dots\dots\dots(9)$$

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh laju alir adsorbat pada koefisien perpindahan massa adsorpsi logam Cu menggunakan adsorben abu sekam padi, dan menentukan hubungan koefisien perpindahan massa logam Cu terhadap variabel berubah dengan bilangan Sherwood.

**2. Metodologi**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O, sekam padi, asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) 0,1 N dan aquadest. Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serangkaian peralatan kolom adsorpsi. Rangkaian peralatan dilihat pada Gambar 2. Variabel yang dilakukan dalam penelitian ini adalah laju alir adsorbat yaitu : 5,32 ml/s, 8,21 ml/s, dan 11,34 ml/s.

Abu sekam padi dengan ukuran 40 mesh dimasukkan ke dalam kolom yang dialiri dengan larutan Cu dengan konsentrasi 9,988 ppm, Kran diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh laju alir tertentu, setelah diperoleh aliran yang konstan maka diambil sampel yang keluar kolom dan dilakukan analisa konsentrasi larutan Cu dengan menggunakan AAS.



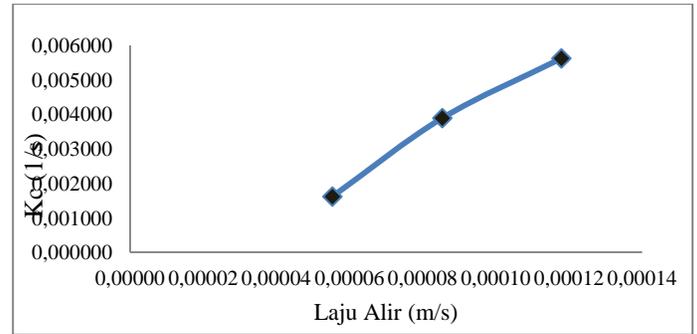
Gambar 2. Rangkaian alat adsorpsi ; 1) Bak umpan, 2) valve , 3)Flowmeter, 4) kolom Adsorpsi, 5) Abu sekam padi, 6) kasa , 7) Bak effluent, 8)Penyangga

**3. Hasil dan pembahasan Pengaruh Laju Alir terhadap Koefisien Perpindahan Massa (kc) Adsorpsi logam Cu**

Dari tabel 1 terlihat bahwa semakin besar laju alir larutan maka nilai kc semakin naik. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan perpindahan massa sangat dipengaruhi oleh laju alir larutan, pada batasan laju alir tertentu. Peningkatan laju alir akan meningkatkan perpindahan massa yang terjadi dipermukaan adsorben tersebut. Pernyataan ini sesuai dengan persamaan.5, dimana laju alir berbanding lurus dengan koefisien perpindahan massa.

Tabel 1. Pengaruh variasi Laju Alir terhadap nilai Koefisien Perpindahan Massa (h= 5 cm; C<sub>A0</sub>= 9,988 ppm; Dp = 40 mesh)

v (m/s)	C <sub>A</sub> (ppm)	C <sub>A</sub> <sup>*</sup> (ppm)	$\left[ \frac{C_A^*}{C_A - C_A^*} \right]$	$\ln \left[ \frac{C_A^*}{C_A - C_A^*} \right]$	Kc (s <sup>-1</sup> )
0,0000553	5,512	4,476	4,32046	1,46336	0,0016191
0,0000853	5,237	4,751	9,77572	2,27990	0,0038929
0,0001179	5,214	4,774	10,8500	2,38416	0,0056230



Gambar 3. Pengaruh variasi laju alir terhadap koefisien perpindahan massa

**4. Hubungan Bilangan Reynold (Re) terhadap Bilangan Sherwood (Sh)**

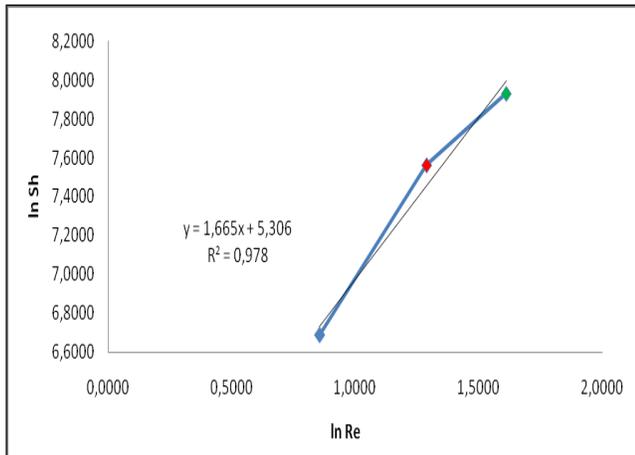
Pada tabel 2 dan gambar 4 dapat dilihat semakin besar nilai Re, nilai Sh yang diperoleh akan meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa bilangan Sh dipengaruhi oleh bilangan Re. Semakin besar nilai Re, nilai Sh yang diperoleh akan meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa bilangan Sh dipengaruhi oleh bilangan Re. Laju alir yang semakin besar akan menimbulkan turbulensi didalam kolom sehingga perpindahan massa yang terjadi semakin besar. Dari hasil regresi linier untuk ln Re versus ln Sh pada gambar 4 diperoleh persamaan : y = 1,665x + 5,306 ,dengan nilai a adalah slope dan nilai K adalah intersept, maka :

$$\ln Sh = 1,665 \ln Re + 5,306$$

$$Sh = 201,542 Re^{1,665}$$

Tabel 2 Pengaruh bilangan Reynold (Re) terhadap bilangan Sherwood (Sh) (h = 0,05 m; Dt = 0,035 m; Dp = 40 mesh)

Laju Alir (m/s)	Kc (s <sup>-1</sup> )	Re	Sh	ln Sh	ln Re
0,0000553	0,0016191	2,352106	800,658	6,68543	0,855311
0,0000853	0,0038929	3,629848	1925,053	7,56271	1,289191
0,0001179	0,0056230	5,013701	2780,564	7,93041	1,612174



Gambar 4. Hubungan Bilangan Reynold terhadap Bilangan Sherwood

**5. Kesimpulan**

1. Nilai koefisien perpindahan massa semakin naik dengan peningkatan laju alir. Dengan batasan laju alir sebesar 0,0000553 – 0,0001179 m/s, diperoleh nilai peningkatan koefisien perpindahan massa sebesar 0,0016191 – 0,0056230/s.
2. Hubungan antara koefisien perpindahan massa dengan variabel yang mempengaruhinya dalam bilangan Sherwood ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Sh = 201,542 Re^{1,665}$$

**Daftar notasi**

- $D_{AB}$  : Diffusivitas larutan Cu,  $m^2/s$
- $V_A$  : Volume molar Cu,  $m^3/kgmol$
- $M_A$  : Berat molekul Cu, kg massa/kgmol
- $M_B$  : Berat molekul pelarut air, kg massa/kgmol
- $\mu_B$  : Viskositas pelarut air, kg/m.s
- $\mu_A$  : Viskositas larutan Cu, kg/m.s
- $\phi$  : Parameter asosiasi pelarut
- $T$  : Suhu operasi, K
- $N_A$  : Kecepatan perpindahan massa, ppm/s

- $C_{A0}$  : Konsentrasi Cu dalam cairan mula-mula, ppm
- $C_A$  : Konsentrasi Cu dalam cairan akhir, ppm
- $C_A^*$  : Konsentrasi Cu dalam cairan dipermukaan adsorben, ppm
- $k_C$  : Koefisien perpindahan massa, 1/s
- $D_t$  : Diameter tabung, m
- $h$  : Tinggi unggun, m
- $v$  : Laju alir, m/s
- $\rho$  : Densitas larutan Cu,  $kg/m^3$
- $Sc$  : Bilangan Schmidt
- $Sh$  : Bilangan Sherwood
- $Re$  : Bilangan Reynold

**Daftar Pustaka**

Danarto, Y. C., dan Artati, K., 2005, Permodelan Adsorpsi Logam Berat Cr dengan Biomassa Rumput Laut pada kolom Unggun Tetap, *Jurnal Ekuilibrium*, 4 (2), 86 – 91.

Geankoplis. C. J., 1978, *Transport Processes and Unit Operation*, Edisi ke 3, Prentice – Hall International. Inc, London, 485 – 486.

Genieva, S. D., Turmanova, S. Ch., Dimitrova, A. S., dan Vlaev, L. T., 2008, Characterization of Rice Husks and The Products of it’s Thermal Degradation in Air or Nitrogen Atmosphere, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 93 (2), 387-396.

King, C. D., 1982, *Separation Processes*, Edisi ke 2, McGraw Hill, New Delhi, 508-524.

Lestiasari, R., 2009, Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat Cu dengan Adsorben Abu Sekam Padi, *Skripsi*, Universitas Riau.

Mc. Cabe, Warren., Julian, J., and Peter Harriot., 1999, *Unit Operation of Chemical Engineering*, Edisi ke 5, Mc Graw – Hill Inc, Singapore.

Ong, S.A., Seng, S. E., and Lim, P. E., 2007, Kinetic of Adsorption of Cu (II) and CD (II) from Aqueous Solution on Rice Husk and Modified Rice Husk, *Electronic Journal of Enviromental, Agricultural and Food Chemistry*, 6 (2), 1764 - 1774.

Sediawan, W.B. dan Prasetya, A. 1997, ” Permodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia”, Andi Offset, Yogya karta