

# PENENTUAN KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA LIQUID SOLID DALAM KOLOM PACKED BED DENGAN METODE ADSORPSI

**Tjatoer Welasih**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri  
UPN "Veteran" Jatim  
Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar Surabaya 60294  
Email : [tritjatoer@yahoo.com](mailto:tritjatoer@yahoo.com)

## **Abstrak**

*Proses perpindahan massa sangat penting dalam bidang ilmu pengetahuan teknik. Perpindahan massa terjadi pada komponen dalam campuran berpindah dalam fase yang sama atau dari fase satu ke fase yang lain karena adanya perbedaan konsentrasi.*

*Salah satu jenis kolom yang populer adalah Packed Bed yang merupakan suatu silinder panjang, biasanya berdiri tegak dan berisi "packing" yang diam di dalamnya. Karena penggunaannya yang sangat luas, maka diperlukan lebih banyak lagi informasi dan study untuk memperkirakan koefisien perpindahan massa dalam kolom "Packed Bed".*

*Penelitian ini dilakukan dalam sistem Adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif lokal sebagai adsorbennya dan larutan Asam benzoat sebagai adsorbatnya, kolom bed dengan diameter 63 mm, dan tinggi partikel 40 cm. Laju alir cairan sebesar 10 ml/s sampai 30 ml/s pada konsentrasi awal yang berbeda-beda antara 0.01 sampai 0.03. Hasil penelitian ini harga konsentrasi keluarga akan semakin kecil dengan semakin naiknya kecepatan liquida dengan konsentrasi awal tetap, sehingga harga koefisien perpindahan massa ( $k_{1,a}$ ) antara 0,03287-0,03390 s<sup>-1</sup> atau semakin besar dengan semakin besarnya kecepatan alir liquida pada konsentrasi awal tetap.*

*Kata Kunci : Perpindahan massa, Adsorpsi, Asam benzoat.*

## **Abstract**

*The process of mass transfer is very important in the field of technical science. Mass transfer occurs when the component in the mixture moves in the same phase or from one phase to another because of concentration difference.*

*One of the column types which is quite popular is packed bed which shape is silinder like. Usually it can keep on erecting when we put the packing in it. Because the wide use of packed bed, more information and study about the coefficience of mass transfer in the column of packed bed are needed.*

*Research was conducted by implementing the adsorption system with the local active carbon as it's. A absorber and acid solution of benzoat as its and adsorbat, the packed bed with its diameter 63 mm and the height of particle 40 cm. The dilution rate of different flow is reaching 10 m/s to 30 ml/s with the starting concentration between 0,01 to 0,03.*

*The result of the research showed that the concentration value would become smaller as the liquid rate in creased with constant starting concentration. So that the coefficient value of mass transfer was between 0,03287-0,033905<sup>-1</sup> or became greater as the liquid rate was increasing with constant starting concentration.*

*Keywords : mass transfer, adsorption, benzoat acid*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Saat ini fenomena perpindahan massa liquid-solid dalam kolom banyak dijumpai dalam proses-proses di industri kimia, terutama pada proses ekstraksi dan kristalisasi. Salah satu contohnya adalah proses perpindahan massa yang ditandai dengan perubahan konsentrasi.

Proses perpindahan masa antara fasa liquid dan fasa solid banyak dipakai dalam industri, oleh karena itu data-data berhubungan dengan proses perpindahan masa tersebut sangat dibutuhkan. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk memperoleh data yang berhubungan dengan koefisien perpindahan masa adalah

### Packed Bed

Packed Bed adalah salah satu jenis kolom yang populer merupakan suatu silinder panjang, biasanya berdiri tegak dan berisi packing yang diam didalamnya. Karena penggunaannya yang sangat luas, maka diperlukan lebih banyak lagi informasi dan study untuk memperkirakan koefisien perpindahan massa dalam kolom Packed Bed. Besaran empiris ini sangat penting, karena dapat memberikan indikasi tentang perilaku sistem tersebut. Study ini dimaksudkan untuk menambah data sehingga mampu mengevaluasi kinerja yang telah ada, terutama jika dibandingkan dengan kolom jenis yang lain.

### Perumusan Masalah

Meskipun sistem liquid-solid (dua fase) telah dipelajari, namun informasi yang tersedia masih kurang memadai, sehingga memerlukan informasi tambahan. Persoalannya terletak pada banyaknya variable yang mempengaruhi perilaku perpindahan massa dalam sistem seperti rate volumetric, jenis dan konsentrasi liquid. Sehingga perlu dipelajari pengaruh variable-variabel yang telah ada terhadap koefisien perpindahan massa. Untuk itu, maka dalam penelitian ini batasan yang diambil mengenai perpindahan massa liquid menuju solid secara difusional tanpa diikuti reaksi kimia.

### Tujuan Penelitian

Mempelajari perpindahan massa dan menghitung koefisien perpindahan massa sisi liquid dalam kolom packed bed dengan menggunakan packing karbon aktif lokal menggunakan metode adsorpsi larutan asam benzoat.

### Teori

Proses Perpindahan massa sangat penting dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknik.

Perpindahan massa terjadi pada komponen dalam campuran berpindah dalam fase yang sama atau dari fase satu ke fase yang lain karena adanya perbedaan konsentrasi.

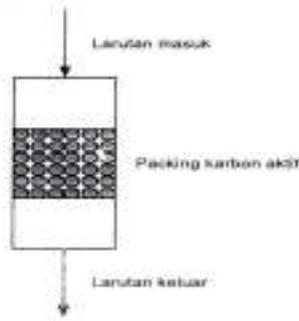
Perpindahan massa dapat dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, sebagai contoh, sedikit gula dimasukkan kedalam secangkir kopi pada akhirnya akan larut dengan sendirinya dan mendifusi ke seluruh bagian larutan.

Banyak proses pemurnian yang menyangkut perpindahan massa. Dalam proses uranium, larutan garam uranium diekstraksi dengan pelarut organik. Distilasi pemisahan alkohol dari air juga menyangkut perpindahan massa. Pemisahan  $\text{SO}_2$  dari "flue gas" dilakukan dengan adsorpsi dalam pelarut dasar (*Geankoplis, 1997*).

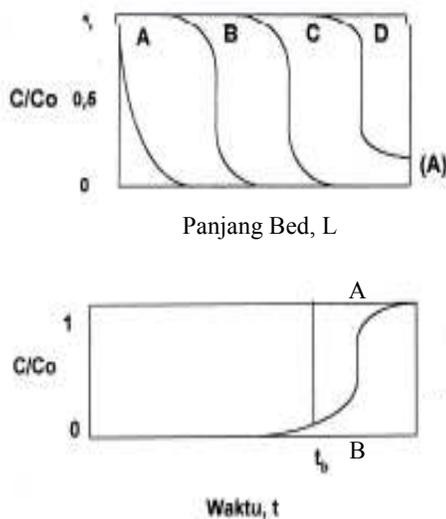
Beberapa penelitian mengenai perpindahan massa liquid – solid dalam packed bed menggunakan proses pelarutan asam benzoat dalam air, hal ini disebabkan kelarutan asam benzoat yang kecil menghasilkan fluks massa yang kecil. Adapun sistem pelarutan yang juga dipakai misalnya naphthalene dalam air dan asam stearat dalam air.

Operasi perpindahan masa dapat diklasifikasikan sebagai berikut (*Treybal, 1981*) kontak langsung dua fase yang tak dapat bercampur kategori ini hampir meliputi semua proses perpindahan massa yang sangat penting yaitu sistem dua fase, beberapa komponen pada kesetimbangan kecuali beberapa komposisi fasenya yang berbeda, misalnya uap kesetimbangan kecuali beberapa larutan garam encer yang tidak mengandung garam dan konsentrasi yang cukup didalam liquida. Begitu pula solid yang berkesetimbangan kontak dengan larutan garam baik murni atau garam tergantung pada komposisi eutektis liquid yang terjadi.

Pada adsorpsi di dalam kolom packed bed, konsentrasi liquid dan fase padat berubah menurut waktu dan posisi tinggi packing. Pada umumnya sebagian besar perpindahan massa berlangsung didekat tempat masuk kolom, disitu fluida berkontak dengan adsorben "segar". Jika zat padat itu tidak mengandung adsorbat pada awal operasi, konsentrasi adsorbat akan menurun secara eksponensial terhadap jarak packing. (*Foss, 1991*)



**Gambar 1. Profil Adsorpsi di dalam Kolom Packed bed**



**Gambar 2. Profil Konsentrasi Terhadap Panjang Bed (A) dan Terhadap Waktu (B)**

Profil konsentrasi digambarkan dalam kurva (A) pada gambar dengan  $C/CO$  merupakan konsentrasi fluida relatif terhadap konsentrasi umpan.

Setelah beberapa waktu, packing didekat tempat masuk liquid akan jenuh dari lubang masuk. Gradien konsentrasi berubah menjadi bentuk S dan terlihat pada kurva (B) dalam gambar. Daerah yang sebagian besar perubahan konsentrasi berlangsung dinamakan zone perpindahan massa dan limitnya disekitar 0,05-0,95. Zone perpindahan massa makin lama bergerak makin jauh kedalam bed, seperti yang ditunjukkan dalam kurva (C) dan (D). Profil tersebut menunjukkan perubahan besar yang terjadi dalam zone perpindahan massa.

Proses adsorpsi adalah proses pemisahan komponen tertentu dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang

menyerap. Zat yang diserap disebut adsorbat, sedangkan bahan yang berfungsi sebagai penyerap disebut adsorben (*Mc.Cabe, 1993*).

Proses adsorpsi terjadi pada interfas solid-solid, gas-solid, gas-liquid, dan liquid solid. Adsorpsi dengan solid seperti karbon tergantung pada luas permukaan solid.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik fisika dan kimia dari adsorben
2. Karakteristik fisika dan kimia dari adsorbat seperti ukuran partikel, polaritas molekul, komposisi kimia dan lain-lain.
3. Konsentrasi adsorbat didalam fase cair.
4. pH, jika proses adsorpsi tidak terjadi pada level pH tertentu, maka variasi level pH harus ditentukan. Dalam melakukan pengaturan pH harus benar-benar diperhatikan untuk menyakinkan bahwa perubahan pH tidak mengubah produk utama.
5. Temperatur
6. Waktu kontak antara adsorben dan adsorbat.

(*Cheremisinoff dan F.E Busch, 1978*)

**Isoterm Adsorpsi** adalah Hubungan antara jumlah zat yang diadsorpsi dan tekanan kesetimbangan atau konsentrasi kesetimbangan pada suhu tetap disebut adsorpsi termal. Dalam adsorpsi liquid oleh solid, menurut *Freundlich (1970)* jumlah yang diserap persatuan luas atau berat adsorben dinyatakan sebagai berikut (*Maron dan Jerome B Landon, 1978*).

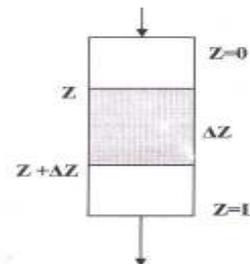
$$Y = K \cdot C^{1/n} \quad (1)$$

Dimana, Y : massa zat yang diadsorpsi per massa adsorben

C : konsentrasi kesetimbangan liquid yang diadsorpsi

K,n : tetapan, tergantung jenis adsorben, fluida dan suhu

Phenomena Perpindahan Massa Dalam Kolom



**Gambar 3. Phenomena perpindahan masa pada kolom packed bed**

Dari persamaan neraca massa dapat dijabarkan berikut:

$$[\text{Input}] - [\text{Output}] = [\text{Akumulasi}]$$

$$\left[ -DS \frac{\partial C_A}{\partial Z} \Big|_{z+SUC_A} \right] - \left[ -DS \frac{\partial C_A}{\partial Z} \Big|_{z+\Delta Z} + SUC_A \Big|_{z+\Delta Z} + k_L a S \Delta Z (C_A - C_A^*) \right] = S \Delta Z \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} \dots \dots \dots (2)$$

$$\left[ -DS \frac{\partial C_A}{\partial Z} \right] - \left[ -DS \frac{\partial C_A}{\partial Z} + \frac{\partial}{\partial Z} \left( -DS \frac{\partial C_A}{\partial Z} \right) \Delta Z + k_L a S \Delta Z (C_A - C_A^*) \right] - SUC_A = S \Delta Z \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial Z} \left( DS \frac{\partial C_A}{\partial Z} \right) \Delta Z - k_L a S \Delta Z (C_A - C_A^*) - SUC_A = S \Delta Z \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial Z} \left( \frac{\partial C_A}{\partial Z} \right) - \frac{U}{D} \left( \frac{\partial C_A}{\partial Z} \right) - \frac{k_L a}{D} (C_A - C_A^*) = \frac{\varepsilon}{D} \frac{\partial C_A}{\partial t} \dots \dots \dots (3)$$

Asumsi :

- Perpindahan massa difusi aksial diabaikan, maka  $\frac{\partial}{\partial Z} \left( \frac{\partial C_A}{\partial Z} \right) = 0$
- Aliran pelarut kontinyu
- Perpindahan massa dikontrol oleh kecepatan transfer massa
- Ukuran partikel tetap
- Komponen tunggal dan isoteremis

Dari asumsi diatas, maka persamaan perpindahan massa menjadi :

$$-U \left( \frac{\partial C_A}{\partial Z} \right) - k_L a (C_A - C_A^*) = \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t}$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[ -u \left( \frac{\partial C_A}{\partial Z} \right) + k_L a (C_A - C_A^*) \right] \dots \dots \dots (4)$$

Peristiwa adsorpsi sangat dipengaruhi oleh sifat permukaan karbon aktif sebagai adsorben maupun sefat adsorbatnya. Permukaan adsorbent yang cenderung untuk permukaan adsorben yang bersifat adsorbatnya. Permukaan adsorben yang bersifat polar lebih banyak menyerap adsorbat yang polar juga, demikian

pula untuk permukaan yang bersifat non polar. Karbon Aktif mempunyai permukaan yang bersifat non polar, namun kenyataan didalam prakteknya, beberapa kompleks karbon oksugen menyebabkan permukaannya menjadi sedikit polar. Meskipun sifat kimia dari permukaan sangat menentukan terjadinya proses adsorpsi, namun peranan surface area dan struktur pori adsorben sebenarnya lebih besar (*Evans Mattew, 1992*)

Menurut konsep molekuler screening, molekul atau ion hanya dapat masuk kedalam pori adsorben bila diameter dari molekul atau ion lebih keci dari pori adsorben. Diameter poripun tak seragam dalam satu partikel karbon aktif terdapat distribusi ukuran pori.

Dengan adanya ukuran pori tersebut, maka proses adsorpsi molekul atau ion campuran dengan diameter yang berbeda akan terserap sesuai dengan distribusi ukuran pori dari partikel karbon tersebut. Oleh karena itu kemampuan penyerapan karbon aktif terhadap beberapa molekul atau ion tergantung pada diameter dan energi adsorpsinya.

### Metode Penelitian

Bahan yang digunakan : Asam benzoat, NaOH kristal, Asam oksalat kristal, Indikator PP, Karbon aktif dengan ukuran diameter partikel 4,23-6,35 mm, Aquadest .

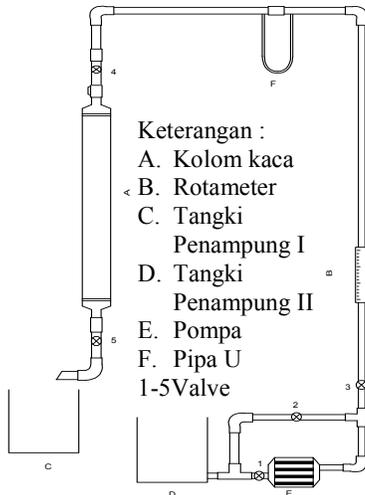
Kondisi yang dikerjakan:

- Flow rate  $Q_L$  (ml/dt): 10, 15, 20, 25, 30
- Konsentrasi awal (Co)M : 0,01, 0,015, 0,02, 0,025,0,03

Peralatan yang digunakan

Peralatan utama : Satu set peralatan percobaan kolom packed bed

1. Kolom Packed Bed dengan spesifikasi :
  - Diameter dalam kolom 4,8 cm
  - Panjang kolom 70 cm
2. Pompa
3. Alat ukur yang terdiri dari ;
  - Rotameter dan manometer



**Gambar 4. Peralatan Penelitian Packed Bed**

**Prosedure Penelitian**

Langkah pertama yang dilakukan adalah merangkai peralatan. Kemudian menyiapkan packing yang berisi padatan karbon aktif lokal berbentuk granular dalam kolom.

Untuk percobaan selanjutnya, mengisi kolom dengan pertikel karbon aktif berbentuk granular. Kemudian menutup valve 3 dan 5, selanjutnya isi bak larutan dengan larutan asam benzoat berkonsentrasi 0,01 M dan menyalakan pompa untuk mengalirkan larutan tersebut. Kemudian mengatur flow rate sebesar 10 ml/dt dengan jalan mengatur bukaan valve 1 dan 2 lalu mencatat  $\Delta h$  pada manometer. Selanjutnya catat konsentrasi yang keluar tiap waktu, kemudian menutup valve 5 untuk membersihkan karbon aktif. Ulangi langkah tersebut dengan flow rate dan konsentrasi awal yang berbeda.

**Analisa**

Analisa yang digunakan adalah memakai alat Spectrometer

- Harga koefisien perpindahan massa  $k_{La}$
- Konsentrasi keluar (C)

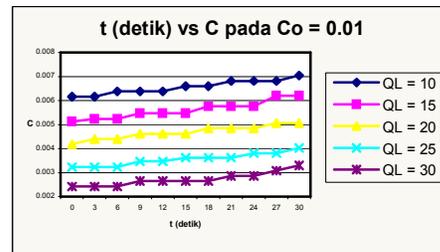
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**1. Konsentrasi Keluar (C)**

Konsentrasi keluar (C) adalah konsentrasi keluar reaktor pada saat waktu tertentu dan pada lajur alir tertentu dengan  $C_0$  yang tetap. Harga (C) didapat dari konsentrasi larutan yang keluar dengan konsentrasi awal ( $C_0$ ) dan lajur alir cairan yang berbeda pada setiap waktu.

**Tabel 1 Hasil Data Konsentrasi Keluar (C)**  
 $C_0 = 0.01$

t dt	QL = 10	QL = 15	QL = 20	QL = 25	QL = 30
0	0.00616	0.00512	0.00418	0.00322	0.00242
3	0.00616	0.00524	0.0044	0.00322	0.00242
6	0.00638	0.00524	0.0044	0.00322	0.00242
9	0.00638	0.00548	0.00462	0.00346	0.00264
12	0.00638	0.00548	0.00462	0.00346	0.00264
15	0.0066	0.00548	0.00462	0.00362	0.00264
18	0.0066	0.00576	0.00484	0.00362	0.00264
21	0.00682	0.00576	0.00484	0.00362	0.00286
24	0.00682	0.00576	0.00484	0.00381	0.00286
27	0.00682	0.0062	0.00506	0.00381	0.00308
30	0.00704	0.0062	0.00506	0.00402	0.0033



**Gambar 5. Hubungan antara waktu dan konsentrasi Asam Benzoat 0,01**

Dari tabel 1 untuk  $C_0 = 0,01$  terlihat bahwa semakin naik laju alir cairan dengan waktu yang tetap maka konsentrasi larutan yang keluar maka akan semakin kecil yaitu antara 0.002-0.007.

Sehingga bisa dikatakan bahwa proses adsorsi telah terjadi, begitu pula sebaliknya, sedangkan dari gambar dapat kita simpulkan bahwa semakin naik laju alir cairan maka harga C semakin kecil sehingga kurva yang terbentuk seperti pada gambar.

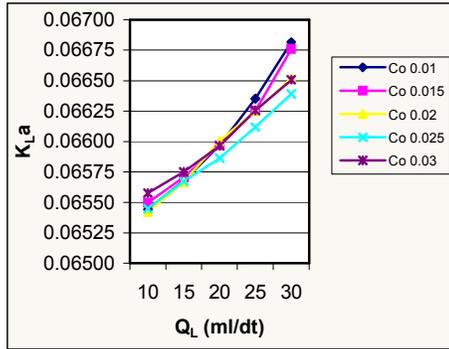
**2. Koefisien perpindahan massa ( $k_{La}$ )**

Untuk mendapatkan koefisien perpindahan massa ( $k_{La}$ ) dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 4 Harga koefisien perpindahan massa didapat dari konsentrasi larutan awal dan konsentrasi keluar hasil penelitian.

Tabel 2. Hasil perhitungan  $k_{La}$

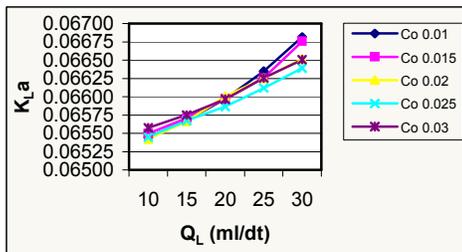
QL (ml/ dt)	Kla				
	Co= 0.01	Co=0 .015	Co= 0.02	Co=0 .025	Co=0. 03
10	0.03 288	0.032 910	0.03 287	0.032 882	0.0329 26
15	0.03 308	0.033 096	0.03 306	0.033 079	0.0331 15
20	0.03 331	0.033 311	0.03 333	0.033 257	0.0333 08
25	0.03	0.033	0.03	0.033	0.0335

	360	547	352	459	39
30	0.03 390	0.033 870	0.03 374	0.033 682	0.0337 42



**Gambar 6. Hubungan antara koefisien Perpindahan Massa ( $k_L a$ ) dan lajur alir liquid ( $Q_L$ ) pada berbagai macam konsentrasi awal ( $C_0$ )**

Dari tabel 2 pada 0,03 dan dari gambar  $k_L a$  vs  $Q_L$  pada  $C_0$  diatas dapat dilihat bahwa semakin naik lajur alir cairan maka harga  $k_L a$  yang didapat akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan persamaan 4 dimana ketinggian bed yang tetap dengan kenaikan kecepatan alir liquid maka harga  $k_L a$  semakin besar.



**Gambar 7. Hubungan antara Koefisien Perpindahan Massa ( $K_L a$ ) dan Konsentrasi Awal ( $C_0$ ) pada Berbagai macam Laju alir Liquid ( $Q_L$ )**

Secara umum pada Grafik  $K_L a$  vs  $C_0$  pada berbagai  $Q_L$  terlihat bahwa dengan konsentrasi 0,01 – 0,03 mol/l dan ketinggian bed yang tetap dengan kecepatan aliran liquid awal tetap menunjukkan bahwa dengan kecepatan alir liquid makin tinggi dengan ketinggian bed tetap, harga  $K_L a$  semakin besar. Hal ini sesuai dengan teori freundlich 1970 bahwa jumlah zat yang diserap per satuan luas atau berat adsorben dinyatakan pada persamaan 1.

## KESIMPULAN

1. Harga konsentrasi yang keluar akan semakin kecil dengan semakin naiknya

kecepatan liquid dengan konsentrasi awal tetap.

2. Harga koefisien perpindahan massa ( $K_L a$ ) semakin besar dengan semakin besarnya kecepatan alir liquid pada konsentrasi awal tetap.
3. Harga koefisien perpindahan massa adalah 0,03287-0,03390 s<sup>-1</sup> pada laju alir liquid 10-30 ml/s dan konsentrasi awal 0,01-0,03 mol/l.

## DAFTAR NOTASI

- a Luas permukaan massa (m<sup>2</sup>)
- $C_A$  Konsentrasi larutan setiap saat (mol/l)
- $C_A^*$  Konsentrasi solute pada bagan liquid yang setimbang dengan konsentrasi solut di permukaan padatan (mol/l)
- $C_0$  Konsentrasi larutan awal (mol/l)
- $dp$  Diameter partikel (m)
- $D$  Difusivitas (m<sup>2</sup>/s)
- $g$  Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- $K_L a$  Koefisien perpindahan (ml/s)
- $M$  Flux massa (mol/s)
- $P_{atm}$  Tekanan atmosfer diluar sistem (kg/m.s<sup>2</sup>)
- $Q_L$  Laju kecepatan cairan (ml/s)
- $t$  Waktu (s)
- $u$  Kecepatan air liquid (m/s)
- $z$  Tinggi packing (m)
- $\mu$  Viscositas (kg/m.s)
- $\rho$  Densitas (kg/m<sup>3</sup>)
- $\epsilon$  Porositas partikel
- $\Delta H$  Beda ketinggian antara masuknya fluida dan keluarnya fluida pada kolom reactor (m)

## DAFTAR PUSTAKA

- Cheremisinoff, Paul N and Fred Ellerbusch, "Carbon Adsorption Handbook", Ann Arbor Science Publishers, inc, Michigan, 1978.
- Chsistie J. Geankoplis "Transport Processes And Unit Operations" 3<sup>th</sup> edition, 1997
- Evans Mattew and Weiland H. Ralph; "Massa Transfer Characteristics of Some Structure Packing", Ind. Eng. Chem. Res., 1992.
- Foss, S, Alan; "A Laboratory Fized Bed Reactor fo (Just About) all Occasions", IECR, vol 30,1991.
- Maron and Jerome B. Lando; "Fundamental of Physical chemistry" 3<sup>th</sup> edition, Mac Publishing Co, Inc New York, 1978
- Mc Cabe, Warren., Julian J Smith & Peter Harriot, "Unit Operation of Chemical Engineering", 5<sup>th</sup> edition, Mac Graw Hill Inc. Singapore, 1993.