

# MODEL POLA ALIR FASA CAIR DALAM REAKTOR TRICKLE BED DENGAN PACKING KARBON AKTIF

Mahfud<sup>\*)</sup> dan F. Husodo

## Abstrak

Unjuk kerja dari reaktor trickle bed tidak hanya dipengaruhi oleh kinetika reaksi, melainkan juga oleh faktor perpindahan massa dan hidrodinamikanya. Salah satu faktor hidrodinamika yang penting adalah pola alir dalam reaktor. Penelitian ini bertujuan mempelajari pola alir fasa cair dalam reaktor trickle bed dan memodelkan alirannya untuk berbagai kondisi operasi (laju alir gas & laju alir cairan). Reaktor trickle-bed yang digunakan pada percobaan ini terdiri dari kolom acrylic yang berdiameter dalam  $4,8 \cdot 10^{-2}$  m dengan tinggi  $7 \cdot 10^{-2}$  m dengan menggunakan packing karbon aktif granular ( $d_{rata-rata} = 0,476$  cm). Kondisi operasinya adalah laju alir gas antara  $1,33 - 2,4 \cdot 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s, laju alir cairan antara  $1,2 - 2,37 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s, tekanan atmosferik dan suhu kamar (29 °C). Metode Stimulus response digunakan untuk memperoleh distribusi waktu tinggal dengan menggunakan larutan NaCl sebagai pelacak yang diinjeksikan secara pulse pada bagian masuk reaktor dan konsentrasi keluar reaktor diukur dengan menggunakan konduktometer. Kurva distribusi waktu tinggal yang diperoleh dicocokkan dengan model dispersed plug-flow dan model tangki seri, dengan bilangan dispersi ( $D/uL$ ) dan bilangan tangki ( $N$ ) sebagai parameter model. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa distribusi waktu tinggal sangat dipengaruhi oleh laju alir cairan dan sedikit dipengaruhi laju alir gas dalam reaktor. Kedua model menunjukkan kecocokan dengan data percobaan, namun model tangki seri lebih baik. Harga bilangan Dispersi ( $D/uL$ ) yang diperoleh dalam reaktor ini berkisar  $0,075 - 0,104$  dan bilangan tangki seri ( $N$ ) berkisar antara  $5,4 - 7,2$ ; yang menunjukkan bahwa reaktor tersebut tidak berada dalam pola alir ideal (plugflow atau mixedflow). Bilangan dispersi menurun secara signifikan dengan meningkatnya laju alir cairan, tetapi sedikit meningkat dengan laju alir gas.

**Kata kunci :** reaktor trickle bed, pola alir, dispersi plug flow, tangki seri

## Pendahuluan

Suatu kontaktor atau reaktor gas-cair banyak digunakan didalam industri kimia, petrokimia dan farmasi diantaranya adalah untuk memproduksi bahan kimia (proses pembuatan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, H<sub>2</sub>PO<sub>3</sub> dan lain-lain), mengurangi polusi udara dari gas buangan yang mengandung SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S dan lain-lain, dan proses fermentasi atau oksidasi biologi. Berbagai bentuk dan jenis reaktor gas-cair banyak dijumpai di industri, setidaknya ada 8 jenis kontaktor gas-cair, yang dapat diklasifikasikan menurut retensi hold up fasa cairnya (Trambouze, 1988). Keadaan aliran gas dan cairan yang dikontakkan serta hasil yang diharapkan akan menentukan pilihan dari suatu jenis reaktor, sehingga karakteristik hidrodinamik dan perpindahan massanya dapat memenuhi operasi yang diinginkan.

Diantara reaktor gas-cair, reaktor fixed bed (kolom unggun tetap) merupakan reaktor yang cukup fleksibel dalam pengoperasiannya dan memiliki koefisien perpindahan massa yang sangat baik.

Reaktor gas-cair jenis kolom unggun tetap dapat dibedakan berdasarkan arah alirannya menjadi reaktor packed-bed counter flow, co-current upflow, dan reaktor trickle bed. Reaktor trickle bed merupakan

reaktor packed bed dengan aliran gas cair searah dari atas kebawah.

Dalam aplikasinya reaktor trickle bed ini sering dipakai untuk mengendalikan polusi dan pengolahan air limbah (Gianetto et.al, 1978; Chaudari and Ramachandran, 1990; Wammes et.al, 1991). Hal ini disebabkan perpindahan massanya lebih baik bila dibandingkan dengan reaktor multi fasa yang lain. Aliran fasa cair dan gas ke bawah secara cocurrent menyebabkan lebih bersifat flexible dalam pengoperasiannya karena tidak dibatasi adanya loading atau flooding seperti pada aliran yang berlawanan arah.

Reaktor trickle bed dengan packing karbon aktif banyak dipakai dalam proses oksidasi katalitik gas SO<sub>2</sub> (Kiared et.al, 1991; Govindarao et.al, 1995; Stageman, 1996), dimana karbon aktif selain berfungsi sebagai katalis, tetapi bentuknya juga akan mempengaruhi pola pencampuran gas cair.

Pembahasan pola alir dalam reaktor trickle bed dengan packing karbon aktif ini tidak banyak dijumpai di literatur (Al-Dahhan and Dudukovic, 1996; Mahfud dan Husodo, 2003). Oleh karena itu penelitian ini bertujuan mempelajari dan memodelkan pola alir fasa cair yang terjadi dalam reaktor trickle bed dengan

<sup>\*)</sup>Jurusan Teknik Kimia, FTI - ITS, Sukolilo, Surabaya 60111  
Email : mahfud\_its@hotmail.com

menggunakan *packing* karbon aktif granular. Dua model satu parameter (model dispersi *plug flow* dan model tangki seri) akan dibandingkan dan digunakan dalam pembahasan hasil penelitian ini.

**Model aliran**

Untuk mengevaluasi model aliran, mula-mula dilihat hasil pengamatan dari kurva distribusi waktu tinggal yang diperoleh, dari bentuk kurva yang diperoleh berbentuk agak simetris, maka kemudian dievaluasi dengan menggunakan 2 model : model pertama adalah model dispersi *plug flow* dan model kedua adalah model tangki seri.

**Model Dispersi Plug Flow (DPF)**

Model aliran *dispersed plug flow* dapat dinyatakan dalam persamaan yang serupa dengan persamaan difusi (Levenspiel, 1999) sbb :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \tag{1}$$

dimana D adalah koefisien dispersi. Dengan menggunakan bilangan tak berdimensi  $z = (ut + x)/L$  dan  $\theta = t/\tau = tu/L$ , maka persamaan differensial yang menyatakan model dispersi menjadi :

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} = \frac{D}{uL} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{\partial C}{\partial z} \tag{2}$$

dimana  $D/uL$  sebagai parameter model :

- jika  $D/uL \rightarrow 0$  aliran bersifat *plug flow*
- jika  $D/uL \rightarrow \infty$  aliran bersifat *mixed flow*.

Dari persamaan diatas dapat diperoleh persamaan kurva distribusi waktu tinggalnya sbb :

$$E_{\theta} = \frac{1}{2\sqrt{\pi\theta(D/uL)}} \exp\left[-\frac{(1-\theta)^2}{4\theta(D/uL)}\right] \tag{3}$$

Bilangan dispersi dapat juga dinyatakan sebagai kebalikannya yaitu menjadi bilangan Pecklet (Pe), dimana  $Pe = uL/D$

**Model Tangki Seri (TS)**

Model aliran yang menggambarkan ketidak idealan suatu reaktor disusun dengan menggunakan serangkaian reaktor *mixed flow* yang disusun seri. Dengan menyelesaikan persamaan neraca masa pada reaktor non-ideal, yang direpresentasikan dengan reaktor seri, maka diperoleh persamaan matematis yang menggambarkan kurva distribusi waktu tinggal (RTD) sbb :

$$E_{\theta} = \frac{N(N\theta)^{N-1}}{(N-1)!} e^{-N\theta} \tag{4}$$

Dengan parameter model N (= jumlah tangki) ketidakidealn reaktor dapat diketahui dari harga N yang diperoleh.

- Jika harga  $N \rightarrow 1$  pola alirnya *mixed flow*

- Jika harga  $N \rightarrow \infty$  pola alirnya *plug flow*

**Evaluasi parameter model**

Untuk mengevaluasi parameter model maka diperlukan perhitungan waktu tinggal rata-rata dan varian dari masing-masing kurva waktu tinggal yang diperoleh.

Kurva C yang merupakan profil konsentrasi keluar dari pelacak, dilakukan normalisasi lebih dahulu sehingga diperoleh kurva E dengan persamaan berikut :

$$E = \frac{C}{\int_0^{\infty} C \cdot dt} \tag{5}$$

Waktu tinggal rata-rata dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} t \cdot E \cdot dt \tag{6}$$

dan penyebarannya dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} t^2 \cdot E \cdot dt - \bar{t}^2 \tag{7}$$

atau persamaan :

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} \tag{8}$$

Parameter model untuk model dispersi dapat diperoleh dari hubungan berikut :

$$\frac{D}{uL} = \frac{\sigma_{\theta}^2}{2} \tag{9}$$

Sedangkan untuk model tangki dapat diperoleh dari persamaan berikut.

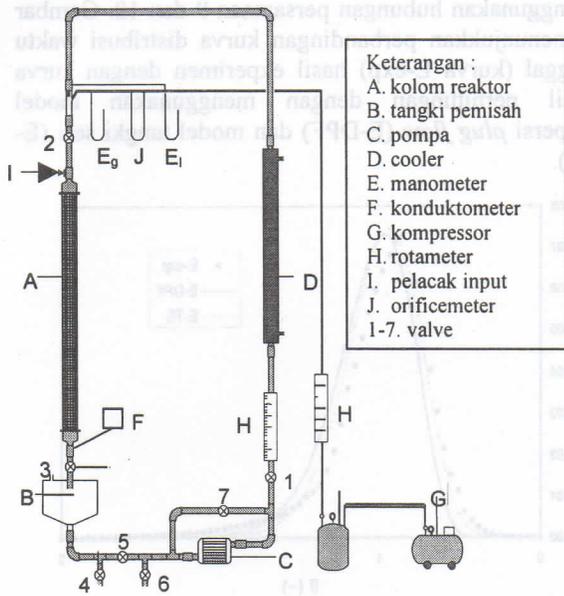
$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\tau^2} = \frac{1}{N} \tag{10}$$

**Metodologi Penelitian**

**Skema peralatan**

Reaktor *trickle-bed* yang digunakan pada percobaan ini diisi dengan butiran karbon aktif granular ( $d_{rata-rata} = 0,476$  cm) sebagai *packing*. Diameter dalam reaktor adalah  $4,8 \times 10^{-2}$  m dengan tinggi  $7 \times 10^{-2}$  m berupa kolom yang terbuat dari bahan kaca (gambar 1). Rangkaian peralatan dilengkapi dengan kolom pendingin, tangki pemisah gas dan cairan yang berada di bawah reaktor *trickle-bed*, pompa sentrifugal untuk mensirkulasikan cairan ke rangkaian peralatan, serta kompresor udara sebagai sumber aliran gas, yang dilengkapi dengan tangki penyangga untuk menstabilkan laju alir udara agar tetap konstan. Aliran gas dan cairan dilengkapi dengan

alat ukur alir yang telah dikalibrasi. Laju alir cairan diukur dengan rotameter, sedangkan laju alir gas diukur dengan *orificemeter*.



Gambar 1. Skema peralatan reaktor trickle bed

Kondisi operasi dari reaktor adalah tekanan atmosferik dan suhu kamar (29°C). Sedangkan variabel penelitiannya adalah : laju alir gas antara 133 – 243 ml/s, laju alir cairan antara 12,22 – 23,70 ml/s, Metode *Stimulus response* digunakan untuk memperoleh distribusi waktu tinggal dengan menggunakan larutan NaCl sebagai pelacak yang diinjeksikan secara pulse pada bagian masuk reaktor dan konsentrasi keluar reaktor diukur dengan menggunakan alat konduktometer (OMEGA CDTX-83)

**Prosedur percobaan**

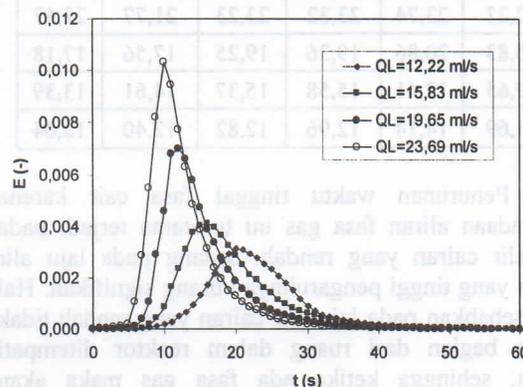
Mula-mula diisi air pada tangki pemisah sebanyak 5 liter, kemudian pompa resirkulasi cairan dijalankan pada laju alir tertentu, kemudian aliran udara dibuka dan diatur pada laju alir tertentu. Setelah kondisi mantap (*steady state*), tekanan masuk pada fasa cair dan fasa gas pada bagian masuk reaktor diamati. Injeksi pelacak dilakukan dengan memasukkan sejumlah larutan garam NaCl pada bagian masuk reaktor secara spontan menggunakan syringe (*pulse input*) dan konsentrasi NaCl ini diamati pada bagian keluar reaktor dengan konduktometer, yang dihubungkan dengan mikro-komputer. Data yang diperoleh selanjutnya dibuat kurva distribusi waktu tinggal (kurva RTD). Dari kurva ini dapat dievaluasi waktu tinggal rata-rata fasa cair dalam reaktor dan penyebarannya, yang kemudian untuk menentukan parameter model.

**Hasil dan pembahasan**

**Distribusi waktu tinggal**

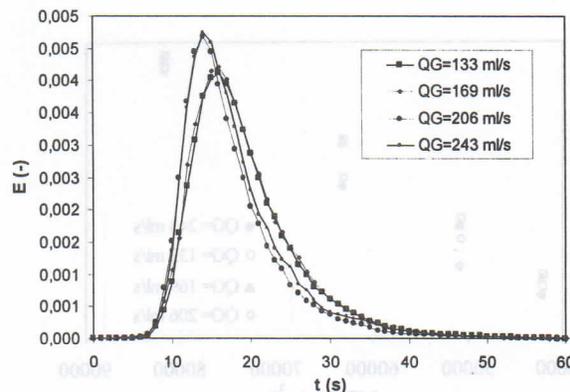
Salah satu contoh hasil pengukuran konsentrasi keluar reaktor setiap saat setelah sejumlah pelacak (*tracer*) diinjeksikan secara *pulse input* pada bagian masuk/bagian atas kolom ditunjukkan pada gambar 2, yang merupakan kurva konsentrasi pelacak fungsi waktu, yang disebut juga sebagai kurva distribusi waktu tinggal dalam reaktor atau kurva C. Pola dari kurva C ini bervariasi untuk berbagai kondisi operasi (laju cairan dan gas) serta geometri reaktor (dimensi kolom, ukuran dan jenis *packing*). Dalam penelitian ini dimensi kolom maupun jenis *packing* sudah tertentu, sehingga distribusi waktu tinggal diamati untuk berbagai laju alir cairan maupun gas.

Gambar 2 dan gambar 3 menunjukkan profil konsentrasi yang telah dinormalisasi (kurva E) untuk berbagai laju alir cairan. Dari gambar 2 nampak penyebaran kurva semakin sempit dengan makin tingginya laju alir cairan, yang berarti semakin mendekati pola alir *plug flow*.



Gambar 2. Kurva distribusi waktu tinggal (kurva E) ( $Q_G = 133$  ml/s)

Sedangkan pada gambar 3 penyebaran kurva meningkat dengan menurunnya laju alir gas, tetapi tidak setajam efeknya seperti akibat perubahan laju alir cairan.



Gambar 3. Kurva distribusi waktu tinggal (kurva E) ( $Q_L = 15,83$  ml/s)

Selanjutnya dari kurva ini dapat dihitung waktu tinggal rata-rata fasa cair dalam reaktor dan penyebaran dari kurva ini mencerminkan pola alir yang berlangsung dalam reaktor.

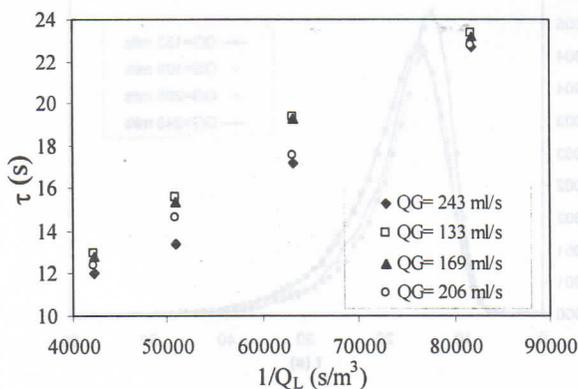
**Pengaruh laju alir cairan dan gas**

Dengan meningkatnya laju alir cairan dalam reaktor maka waktu tinggal fasa cair akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan hubungan waktu lewat fasa cair (*space time*)  $\tau = V/Q_L$  dan ditunjukkan oleh tabel 1 dan gambar 4. Sedangkan dengan adanya fasa gas dalam reaktor maka jumlah cairan dalam reaktor (*liquid hold-up*) akan semakin berkurang, sehingga makin besar laju alir gas akan menurunkan waktu tinggal fasa cair.

Tabel 1. Waktu tinggal rata-rata fasa cair untuk berbagai laju alir fasa gas dan fasa cair

$Q_L$ (ml/s)	Waktu tinggal rata-rata (s)				
	$Q_G=0$	$Q_G=133$	$Q_G=169$	$Q_G=206$	$Q_G=243$
12,22	23,74	23,32	23,23	21,77	22,67
15,83	20,86	19,36	19,25	17,56	17,18
19,65	17,41	15,58	15,37	14,61	13,39
23,69	14,14	12,96	12,82	12,40	12,04

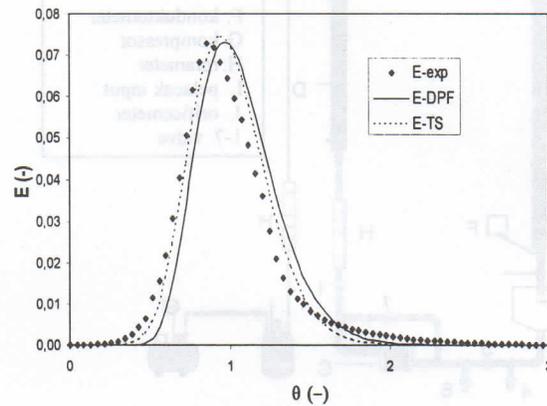
Penurunan waktu tinggal fasa cair karena keberadaan aliran fasa gas ini terutama terjadi pada laju alir cairan yang rendah, sedang pada laju alir cairan yang tinggi pengaruhnya kurang signifikan. Hal ini disebabkan pada laju alir cairan yang rendah tidak semua bagian dari ruang dalam reaktor ditempati cairan, sehingga ketika ada fasa gas maka akan menempati ruang yang tidak terisi cairan serta sedikit menekan fasa cair. Hal ini ditunjukkan pada laju alir cairan yang tinggi, regim aliran berada pada regim *pulse (high interaction)* sehingga tekanan fasa cair sudah cukup kuat untuk menahan tekanan fasa gas sehingga waktu tinggalnya kurang dipengaruhi fasa gas.



Gambar 4. Pengaruh laju alir terhadap waktu tinggal rata-rata

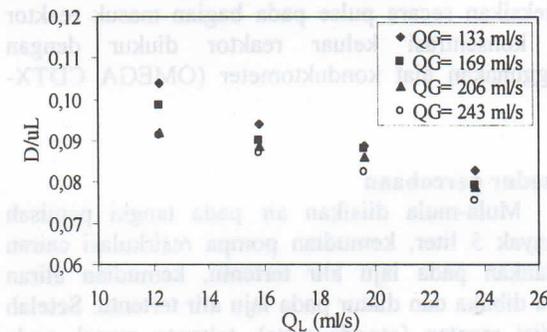
**Kesesuaian model**

Dari kurva-kurva C tersebut kemudian dievaluasi parameter model yakni bilangan dispersi ( $D/uL$ ) dan bilangan tangki seri ( $N$ ), dengan menggunakan hubungan persamaan 9 dan 10. Gambar 5 menunjukkan perbandingan kurva distribusi waktu tinggal (kurva E-exp) hasil eksperimen dengan kurva hasil perhitungan dengan menggunakan model dispersi *plug flow* (E-DPF) dan model tangki seri (E-TS).



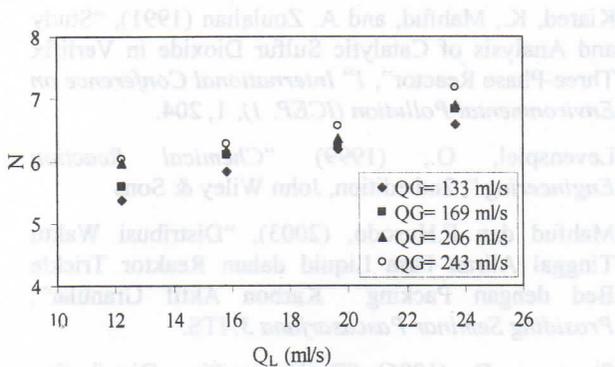
Gambar 5. Perbandingan model dispersi, model tangki seri dengan data Experimental

Gambar 5, seperti halnya gambar-gambar lain yang sejenis, menunjukkan model tangki seri lebih mendekati data-data hasil eksperimen. Hal ini menunjukkan terjadinya dispersi yang relatif besar dalam reaktor, khususnya untuk laju alir cairan yang rendah maka penyebaran akan semakin besar.



Gambar 6. Bilangan dispersi fungsi laju alir  $Q_G$  &  $Q_L$

Gambar 6 menunjukkan harga  $D/uL$  fungsi laju alir cairan, dari gambar tersebut nampak terjadi penurunan harga  $D/uL$  pada laju alir air yang semakin meningkat. Dengan demikian peningkatan laju alir cairan tidak hanya menurunkan waktu tinggal fasa cair tetapi juga meningkatkan pola aliran fasa cair mendekati *plug flow*. Hal ini disebabkan semakin besarnya laju alir cairan maka aliran akan semakin turbulen dan profil kecepatan aliran semakin rata. Akan tetapi secara keseluruhan dengan harga  $D/uL$  seperti di atas pola alir jelas tidak ideal (*plug flow*)



Gambar 7. Bilangan tangki seri fungsi laju alir  $Q_G$  &  $Q_L$

Sedangkan gambar 7 menunjukkan harga N fungsi laju alir cairan, dari gambar tersebut nampak terjadi peningkatan harga N pada laju alir air yang semakin meningkat.

Dengan demikian peningkatan laju alir cairan tidak hanya menurunkan waktu tinggal fasa cair tetapi juga meningkatkan pola aliran fasa cair mendekati pola alir tangki seri. Makin besar harga N maka akan semakin jauh dari *ideal mixed flow*. Dengan demikian, secara keseluruhan dengan harga N di atas pola alir jelas tidak ideal (*mixed flow*)

**Korelasi bilangan dispersi**

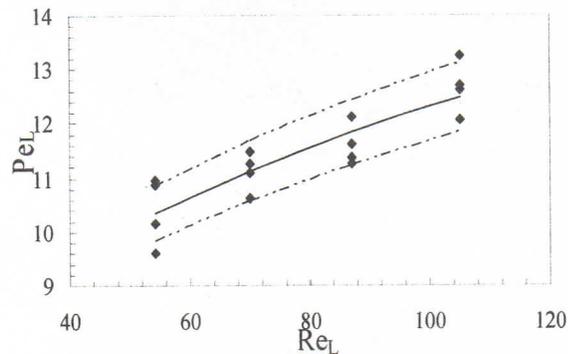
Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh laju alir gas dan cairan (secara kuantitatif) dan untuk mendapatkan hubungan  $D/uL$  cairan dengan variabel percobaan maka dibuat korelasi dengan kesalahan  $\pm 5\%$  sehingga diperoleh :

$$D/uL = 4,352 \cdot Q_L^{-0,285} \cdot Q_G^{-0,153} \quad (11)$$

Dari korelasi ini dapat dilihat bahwa laju alir cairan lebih besar pengaruhnya terhadap penurunan bilangan dispersi daripada laju alir gas.

Apabila dibuat korelasi korelasi dispersi aksial menurut model bilangan dispersi aksial oleh Hochman & Effron (Dudukovic and Mills, 1981) akan menghasilkan korelasi seperti yang ditunjukkan pada persamaan 12 dan gambar 8.

$$Pe_L = 3,5587 \cdot Re_L^{0,2837} \quad (12)$$



Gambar 7. Korelasi menurut model bilangan dispersi aksial oleh Hochman & Effron

Dari korelasi ini juga dapat dilihat bahwa pengaruh laju alir cairan cukup signifikan terhadap peningkatan bilangan Pecklet ( $Pe$ ) atau penurunan bilangan dispersi.

**Kesimpulan**

- Distribusi waktu tinggal dalam kolom *trickle bed* dengan *packing* karbon aktif granular sangat dipengaruhi oleh laju alir fasa cair dan sedikit dipengaruhi laju air gas
- Pola aliran dalam kolom *trickle bed* dengan *packing* karbon aktif granular dapat didekati dengan model dispersed *plug flow* maupun model tangki seri. Kedua model menunjukkan kesesuaian dengan data percobaan, namun model tangki seri lebih baik.
- Semakin besar laju alir gas dan alir cairan ke dalam kolom, bilangan dispersi *plug flow* semakin kecil. Harga bilangan Dispersi ( $D/uL$ ) yang diperoleh dalam reaktor ini berkisar 0,075 – 0,104; yang menunjukkan bahwa reaktor tersebut tidak berada dalam pola alir ideal (*plugflow*). Bilangan dispersi menurun secara signifikan dengan meningkatnya laju alir cairan, tetapi sedikit meningkat dengan laju alir gas.
- Semakin besar laju alir gas dan alir cairan ke dalam kolom, bilangan tangki seri ( $N$ ) semakin besar. Harga bilangan tangki seri ( $N$ ) berkisar antara 5,4 – 7,2; yang menunjukkan bahwa reaktor tersebut tidak berada dalam pola alir ideal (*mixed flow*).
- Hubungan  $D/uL$  cairan dengan variabel percobaan diperoleh suatu korelasi opsional sbb:  $D/uL = 4,352 \cdot Q_L^{-0,285} \cdot Q_G^{-0,153}$  dan korelasi dispersi aksial menurut model bilangan dispersi aksial oleh Hochman & Effron sbb :  $Pe_L = 3,5587$  dan  $Re_L = 0,2837$

**Daftar Notasi**

- C : Konsentrasi pelacak, mol/l
- D : Koefisien dispersi aksial,  $m^2/s$
- $D/uL$  : Bilangan dispersi
- E : Kurva distribusi waktu tinggal
- L : Panjang reaktor, m
- Pe : Bilangan Peclet
- $Q_G$  : Laju alir gas, ml/s
- $Q_L$  : Laju alir cairan, ml/s
- t : Waktu, s
- $\bar{t}$  ( $\tau$ ) : Waktu tinggal rata-rata, s
- u : Kecepatan superficial cairan, m/s
- x : Panjang, m
- z : Panjang persatuan panjang reaktor
- $\theta$  : Waktu persatuan waktu tinggal rata-rata

**Index:**

- G : Fasa gas
- L : Fasa cair

**Daftar Pustaka**

Al-Dahhan, M.H. and M.P. Dudukovic (1996), "Catalyst Bed Dilution for Improving Catalyst Wetting in Laboratory Trickle-Bed Reactors", *AICHE Journal*, 42, 2594

Chaudari, R.V., and Ramachandran, P.A.(1990), "Mass Transfer in Trickle Bed Reactors", *Paper from Unite Mixte CNRS-Rhone Paulenc, Lyon, France*

Dudukovic, M.P. and P.L. Mills, (1981) "Evaluation of Liquid-Solid Contacting in Trickle-Bed Reactors by Tracer Methods", *AICHE Journal*, 27, 893

Gianetto, A., Baldi, G., Specchia, V., and Sicardi, S. (1978), "Hydrodynamics and Solid-Liquid Contacting Effectiveness in Trickle Bed Reactors", *AICHE J.*, 24, no. 6

Govindarao, (1995) V.M.H. and K.V. Gopalakrishna, "Oxidation of Sulfur Dioxide in Aqueous Suspensions of Activated Carbon", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 34, 2258

Kiared, K., Mahfud, and A. Zoulalian (1991), "Study and Analysis of Catalytic Sulfur Dioxide in Verliflix Three-Phase Reactor", *1<sup>st</sup> International Conference on Environmental Pollution (ICEP. 1)*, 1, 204.

Levenspiel, O., (1999) "Chemical Reaction Engineering", 2nd edition, John Wiley & Sons

Mahfud dan F.Husodo, (2003), "Distribusi Waktu Tinggal Aliran Fasa Liquid dalam Reaktor Trickle Bed dengan Packing Karbon Aktif Granular", *Prosiding Seminar Pascasarjana 3*, ITS.

Stegeman, D., (1996), "Residence Time Distribution in the Liquid Phase in a Cocurrent Gas-Liquid Trickle Bed Reactor", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 35

Trambouze, P. (1988), "Réacteurs Chimiques : II. Technologie", *Tech. de l'Ingenieur J.* 40 20, 12-15.

Wammes, W.J.A., Middelkamp, J., Huisman, W.J., DeBass, C.M., and Westerterp, K.R. (1991). "Hydrodynamics in a Cocurrent Gas-Liquid Trickle Bed at Elevated Pressure". *AICHE J.*, 37, 12.

Daftar Pustaka

C	: Konsentrasi pelepas, mol/l
D	: Koefisien dispersi axial, m <sup>2</sup>
D <sub>ax</sub>	: Bilangan dispersi
t <sub>0</sub>	: Kurva distribusi waktu tinggal
L	: Panjang reaktor, m
F <sub>r</sub>	: Bilangan Fockle
Q <sub>g</sub>	: Laju alir gas, m <sup>3</sup> /s
Q <sub>l</sub>	: Laju alir cairan, m <sup>3</sup> /s
l	: Waktu
τ	: Waktu tinggal rata-rata
u	: Kecepatan superficial cairan, m/s
x	: Panjang, m
z	: Panjang persatuan panjang reaktor
θ	: Waktu persatuan waktu tinggal rata-rata
index	
Q	: Fasa gas
L	: Fasa cair

