

PENGARUH JUMLAH DAN PANJANG BAFEL TERHADAP DIFUSI EDDY PADA SIEVE TRAY

H. Soekarno, L. Pudjiastuti, R. Handogo dan N. Soewarno *)

Abstrak

Penelitian yang mengkaji jumlah dan panjang Baffle T-By pada sieve tray untuk mengurangi difusi eddy telah dilakukan. Berkurangnya difusi eddy dapat dilihat dari naiknya harga Peclet Number yang mempunyai korelasi dengan efisiensi tray. Penelitian dilakukan dengan menggunakan sebuah tray testing simulator, pada kemiringan bafel tertentu, dengan memvariasi panjang bafel, jumlah bafel, faktor-F, dan laju alir air. Perhitungan untuk memperoleh eddy diffusivity menggunakan teknik tracer. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin meningkat panjang bafel, maka semakin besar Peclet Number. Pada kenaikan jumlah bafel, menunjukkan Peclet Number cenderung naik. Tetapi setelah mencapai jumlah bafel tertentu, maka Peclet Number turun. Harga Pe yang diperoleh menggambarkan bahwa liquid berada dalam keadaan hampir dispersi dan konveksi. Sedangkan laju alir air dan faktor-F kecil pengaruhnya terhadap Peclet Number. Penelitian ini menunjukkan bahwa Pe tertinggi yang bisa dicapai adalah 14, pada $n = 7$, $Y = 8$ cm, faktor-F = $1,994$ (m/det)(kg/m³)^{0,5}, laju alir air (Q) = 0,311 L/det, dan panjang bafel (X) = 90%L.

Kata kunci : bafel; difusi eddy; Peclet Number, sieve tray

Pendahuluan

Sieve tray merupakan salah satu jenis tray yang banyak digunakan sebagai alat kontak antara uap dan cairan pada suatu kolom distilasi. Pemakaian sieve tray disukai karena memiliki kapasitas besar, perawatannya mudah dan harganya lebih murah. Kerugiannya adalah *pressure drop* tinggi dan efisiensi rendah pada laju uap rendah. Lockett (1986) mengemukakan bahwa efisiensi sieve tray akan turun karena fenomena hidrolika yang terjadi seperti *liquid mixing*, *vapour mixing*, ketidakteraturan distribusi kecepatan aliran cairan di atas tray, ketidakteraturan distribusi aliran uap yang melewati tray dan adanya fenomena *entrainment* dan *weeping*.

Ketidakteraturan (maldistribusi) kecepatan aliran di atas tray dapat disebabkan oleh dua hal yaitu adanya fenomena *liquid mixing* dan adanya daerah stagnan pada tray. *Liquid mixing* yang terjadi di atas tray disebabkan oleh uap yang melewati tray, yang direpresentasikan sebagai *eddy diffusion*. Daerah stagnan terdapat pada kedua sisi tray dekat dinding kolom. Pada *single pass tray* bentuk sirkuler, terdapat perbedaan kecepatan aliran rata-rata cairan antara daerah pusat tray dengan daerah inlet atau outlet weir. Kecepatan alir rata-rata cairan dekat pusat tray lebih kecil daripada kecepatan alir rata-rata cairan pada inlet atau outlet weir. Perbedaan kecepatan tersebut akan signifikan pada diameter kolom yang besar.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengurangi maldistribusi diantaranya : Modifikasi sieve tray konvensional dengan bafel, sehingga diperoleh aliran cairan *plug flow* yang

mengakibatkan kinerja tray meningkat pada sistem cyclohexane/n.heptane (Tedder dkk., 1993).

Pengaruh baffle V pada sieve tray untuk sistem methanol-air. Kesimpulannya, dengan memasang 6 bafel efisiensi tray meningkat 14-30% (Ashley dan Haselden, 1973)

Ani dkk. (1996) meneliti pengaruh laju alir liquid dan uap di atas tray dengan menggunakan tray testing simulator untuk sistem udara-air. Kesimpulannya, untuk laju alir uap yang rendah, efisiensi tray mencapai 70%.

Barker dan Self (1962) dalam Bennett dan Grimm (1991) mengemukakan cara untuk menentukan eddy diffusivity fluida dengan teknik tracer, dimana test dilakukan dalam berbagai laju alir air, dengan laju alir udara yang konstan. Kemudian zat warna (*dye*) dimasukkan untuk mendapatkan profil konsentrasi yang digunakan untuk menghitung eddy diffusivity.

Pudjiastuti (2002) meneliti sieve tray yang dilengkapi bafel untuk sistem udara/air pada lebar dan kemiringan tertentu. Hasilnya menunjukkan adanya hubungan antara waktu tinggal cairan di atas tray dan derajat pencampuran. Peningkatan waktu tinggal akan menaikkan efisiensi tray.

ilaban dan Sari (2002) meneliti sieve tray yang dilengkapi bafel untuk sistem udara/air dengan berbagai macam kemiringan, dimana diperoleh hasil paling baik pada kemiringan 45° dengan menggunakan metode *pool number*.

Wicaksono dan Prasetiawan (2003) meneliti sieve tray yang dilengkapi bafel untuk sistem udara/air dengan berbagai macam ketinggian, dimana

*) Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Tlp:031-5946240, E-mail: ltd-tkits-sby@telkom.net

diperoleh hasil paling baik pada ketinggian bafel 6 cm dengan menggunakan metode *pool number*.

Pada percobaan yang kami lakukan digunakan sistem udara/air. Udara mewakili fase uap yang bergerak ke atas dan air mewakili fase cair yang mengalir ke bawah.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh panjang dan jumlah bafel terhadap difusi eddy dengan memasang bafel bervariasi sebanyak 5, 7, 9 buah, kemiringan bafel 45°, tinggi bafel 8 cm, panjang bafel bervariasi 80%L dan 90%L.

Teori

Fogler (1992) menyatakan bahwa *mixing* dalam aliran liquid terdiri dari *axial mixing (dispersion)* dan *radial mixing (convection)*. Dalam arah x secara matematis ditulis:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - u \frac{\partial C}{\partial x} \tag{1}$$

dimana parameter D_e disebut sebagai *dispersion coefficient*, yang menurut Perry (1993) juga disebut *eddy diffusivity*.

Dalam bentuk tak berdimensi dinyatakan

$$C^* = \frac{C}{C_o} \tag{2}$$

$$Z = \frac{(u.t + x)}{H} \tag{3}$$

$$\theta = \frac{t}{t_p} = \frac{u.t}{H} \tag{4}$$

$$Pe = \frac{u.H}{De} \tag{5}$$

Persamaan (1) menjadi (Levenspiel, 1972)

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} - \frac{\partial C}{\partial Z} \tag{6}$$

$$\left(\frac{1}{Pe}\right) \longrightarrow 0 \text{ dispersi diabaikan, aliran } \textit{plugflow}$$

$$\left(\frac{1}{Pe}\right) \longrightarrow \infty \text{ dispersi besar, aliran } \textit{mixed flow}$$

Percobaan memakai *tracer technique*. Waktu tinggal liquida di atas tray (t_p) dapat dihitung dari konsentrasi *tracer* dalam cairan yang meninggalkan tray sebagai fungsi waktu ($C(t)$) yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$t_p = \frac{\int_0^\infty tC(t)dt}{\int_0^\infty C(t)dt} \tag{7}$$

Sebaran distribusi konsentrasi *tracer* dinyatakan dengan *variance* (σ^2) yang didefinisikan sebagai :

$$\sigma^2 = \frac{\int_0^\infty (t - t_p)^2 C(t)dt}{\int_0^\infty C(t)dt} = \frac{\int_0^\infty t^2 C(t)dt}{\int_0^\infty C(t)dt} - t_p^2 \tag{8}$$

Hubungan antara *eddy diffusivity* dengan *variance* dinyatakan dalam

$$\frac{\sigma^2}{t_p^2} = 2 \left(\frac{De}{uH}\right) \tag{9}$$

Eddy diffusivity dari fluida dinyatakan dalam *Peclet number* (Pe) dimana hubungannya dirumuskan dalam Persamaan (5).

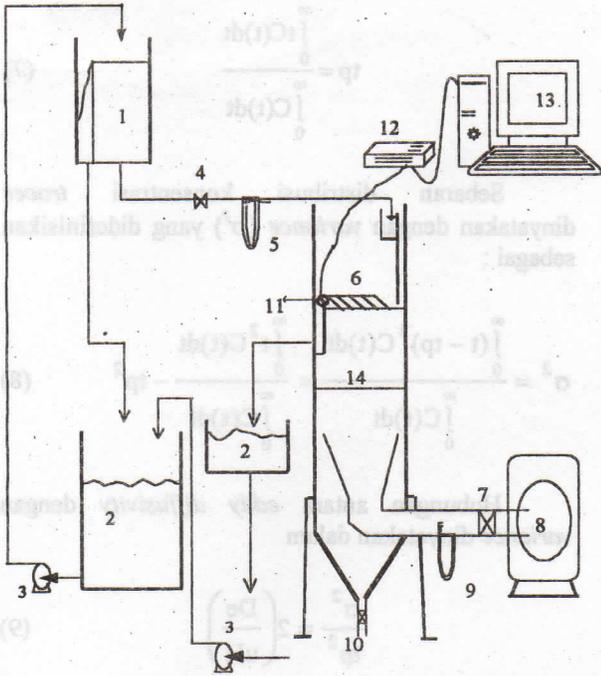
Gerster dkk. (1958) (dalam Seader dan Henley, 1998) menyatakan bahwa *Peclet Number* mempunyai korelasi dengan efisiensi tray.

Metodologi Penelitian

Suatu *sieve tray* dengan spesifikasi seperti Tabel 1 pada tekanan atmosfer digunakan pada penelitian. Proses dimodelkan sebagai sistem udara – air di dalam kolom *sieve tray* yang dipasang bafel (Gambar 1)

Udara dari *blower* (8) masuk pada bagian dasar kolom dengan laju alir tertentu. Udara akan melewati suatu distributor tray (14), sehingga diharapkan dapat mencapai kondisi seragam pada daerah aktif *sieve tray*. Air dari tangki (2) dipompa (3) ke tangki penampung *over flow* (1), kemudian dialirkan secara gravitasi ke bagian atas tray setelah melewati manometer air raksa (5). Dimensi dan posisi bafel (6) ditunjukkan secara jelas pada Gambar 2 dan 3. Kemudian *tracer* dengan konsentrasi dan jumlah tertentu diinjeksikan ke dalam *inlet weir*. Pada *interval* waktu tertentu, setelah *tracer* diinjeksikan cairan yang keluar dari *outlet weir* diukur konsentrasi *tracer* oleh sensor konduktivitas (11) diteruskan ke *datataker* (12) yang *online* dengan komputer (13).

Dari percobaan didapatkan data konsentrasi *tracer* dan waktu pengukuran setelah diinjeksikan *tracer*.



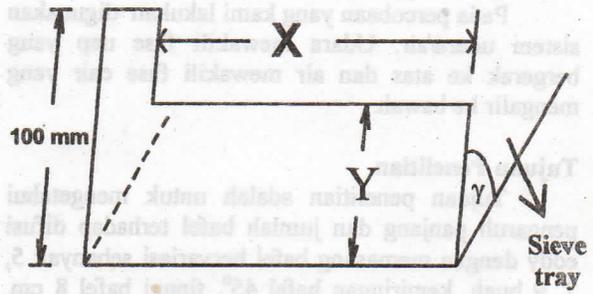
Gambar 1. Rangkaian Peralatan Penelitian

Keterangan Gambar:

1. Tangki overflow
2. Tangki penampung
3. Pompa
4. Valve air masuk kolom
5. Manometer air raksa
6. Bafel
7. Valve udara
8. Blower
9. Manometer air
10. Valve buangan weeping
11. Sensor konduktivitas
12. Dataaker
13. Komputer (PC)
14. Distributor

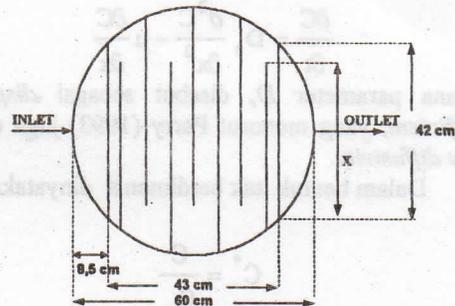
Tabel 1. Spesifikasi tray/baffle

Bagian Peralatan	Ukuran
Garis tengah lubang tray, mm	5
Garis tengah kolom, mm	600
Tebal tray, mm	2
Tinggi outlet weir, mm	25,4
Tinggi bafel, mm	80
Jumlah lubang tray	65
Luas lubang tray, mm ²	1265,63
Garis tengah pipa udara, mm	200
Luas downcomer, mm ²	$0,0248 \times 10^6$
Hole spacing, mm	12,5
Jarak lubang uap dengan dinding mm	50
Jarak lubang uap dengan outlet weir, mm	50
Material tray	Stainless Steel
Kemiringan bafel	45°



Gambar 2. Dimensi bafel

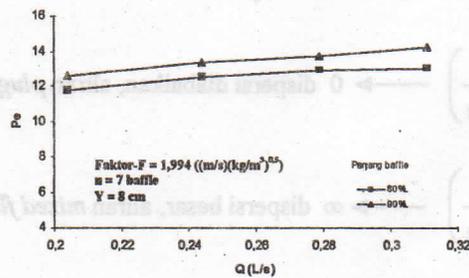
X = 80 dan 90 % L.
 Y = 8 cm.
 $\gamma = 45^\circ$



Gambar 3. Posisi bafel

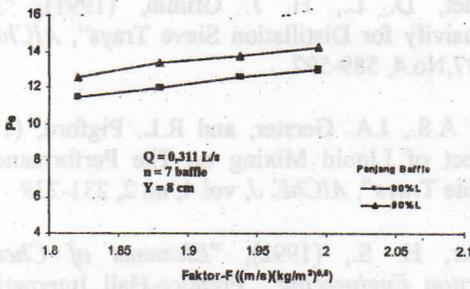
Hasil dan Pembahasan

Peclet $X=90\%L$ lebih besar dari pada $X=80\%L$, untuk setiap laju alir cairan yang tetap dan makin besar Q makin besar Pe untuk X tetap (Gambar 4). Mekanisme ini bisa dijelaskan dengan Tabel 2 dimana makin besar Q harga tp makin menurun atau harga u naik. Kenaikan Q akan didapat slope yang lebih kecil untuk masing-masing X , yang berarti weeping bertambah besar.



Gambar 4. Hubungan antara Peclet Number (Pe) vs laju alir air (Q) pada berbagai panjang bafel

Gambar 5 menunjukkan bahwa untuk $Q=0,311$ L/detik, bertambah besar faktor-F didapatkan harga Pe semakin besar.



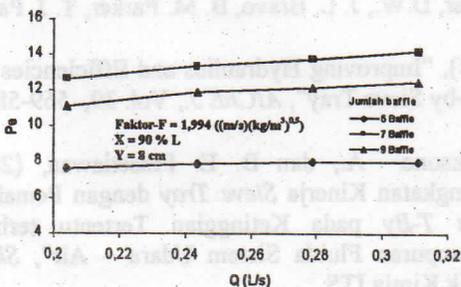
Gambar 5. Hubungan antara Pe dan faktor-F pada berbagai panjang bafel

Pada kondisi awal Gambar 5 merupakan kondisi akhir Gambar 4 ialah $Q = 0,311$ L/detik, yang berarti weeping terbesar dari Gambar 4. Dengan naiknya faktor-F laju alir uap bertambah besar akan memberikan pengaruh terhadap weeping dimana menjadi berkurang.

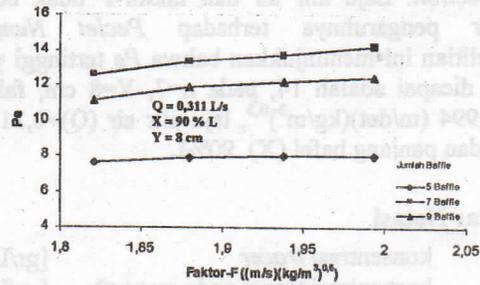
Tabel 2 Harga Peclet Number (Pe) pada berbagai laju alir air dan panjang bafel

X (%)	Q (L/det)	h (m)	tp (det)	σ^2 (det ²)	Pe	u (m/det)
80	0,204	0,0326	35,225	211,63	11,726	0,0122
	0,244	0,0373	33,759	182,20	12,510	0,0127
	0,279	0,0376	29,716	137,29	12,863	0,0145
	0,311	0,0401	28,478	124,79	12,997	0,0151
90	0,204	0,0348	37,704	226,12	12,574	0,0114
	0,244	0,0387	34,993	183,42	13,352	0,0123
	0,279	0,0408	32,239	151,53	13,718	0,0133
	0,311	0,0451	32,011	144,28	14,204	0,0134

($n=7, Y=8\text{cm}, F=1,994 \text{ (m/detik)(kg/m}^3)^{0,5}$).



Gambar 6. Pengaruh jumlah bafel terhadap Peclet Number (Pe) pada berbagai harga Q .



Gambar 7. Pengaruh jumlah bafel terhadap Pe untuk berbagai faktor-F.

Peclet Number (Pe) terbesar yang bisa dicapai adalah 14 pada ketinggian bafel = 8 cm, jumlah bafel = 7, panjang bafel = 90%L, laju alir air = 0,311 L/detik, dan faktor-F = 1,994 (m/det)(kg/m³)^{0,5}. Jadi harga $1/Pe = 0,0714$. Menurut teori yang diuraikan diatas, maka liquid berada dalam keadaan *dispersion* dan *convection*.

Tabel 3 Harga Pe dan De pada berbagai jumlah bafel

n	tp (det)	σ^2 (det ²)	Pe ($\frac{2tp^2}{\sigma^2}$)	d (m)	H (m)	De (m ² /dt)
5	23,63	139,34	8,012	0,072	2,7896	0,0452
7	32,01	144,28	14,204	0,054	3,6086	0,0326
9	32,99	174,72	12,456	0,043	4,4819	0,0559

($Y=8 \text{ cm}, Q=0,311 \text{ L/detik}, X=90\%L, \text{ faktor-F}=1,994 \text{ (m/detik)(kg/m}^3)^{0,5}$).

Gambar 6 menunjukkan bahwa pada faktor-F=1,994 (m/detik)(kg/m³)^{0,5} harga $Pe_{(n=7)}$ lebih besar dari pada $Pe_{(n=5)}$ serta $Pe_{(n=9)}$ lebih kecil dari pada $Pe_{(n=7)}$. Hal ini bisa dijelaskan dengan data dalam Tabel 3 sebagai contoh untuk $Q=0,311$ L/det menunjukkan bahwa $De_{(n=5)}$ lebih besar daripada $De_{(n=7)}$ sedangkan menurut Persamaan (5), Pe berbanding terbalik terhadap De . Demikian halnya bagi bafel 7 dan 9. Oleh karenanya kondisi yang optimum dalam penelitian adalah jumlah bafel = 7

Harga Pe laju alir $Q=0,311$ L/det untuk berbagai jumlah bafel $n=5, 7, 9$ dan faktor-F antara 1,821 sampai dengan 1,994 (m/det)(kg/m³)^{0,5} terlihat pada Gambar 7. Seperti halnya Gambar 6 harga $Pe_{(n=5)}$ lebih kecil dibanding dengan $Pe_{(n=7)}$ dan $Pe_{(n=7)}$ lebih besar daripada $Pe_{(n=9)}$.

Kesimpulan

Pada kenaikan persentasi panjang bafel, menunjukkan *Peclet number* cenderung naik. Pada harga Pe yang diperoleh menggambarkan bahwa liquid berada dalam keadaan *dispersion* dan

convection. Laju alir air dan faktor-F tidak begitu besar pengaruhnya terhadap *Peclet Number*. Penelitian ini menunjukkan bahwa *Pe* tertinggi yang bisa dicapai adalah 14, pada $n=7$, $Y=8$ cm, faktor- $F=1,994$ (m/det)(kg/m³)^{0,5}, laju alir air (Q)=0,311 L/det, dan panjang bafel (X) 90%L.

Daftar Notasi

C	konsentrasi tracer	[gr/L]
C _o	konsentrasi tracer pada saat t<0	[gr/L]
C*	konsentrasi tak berdimensi	[-]
C(t)	konsentrasi tracer pada saat t	[gr/L]
d	jarak antar bafel	[m]
De	koefisien dispersi	[m ² /detik]
Faktor-F		[(m/detik)(kg/m ³) ^{0,5}]
H	lintasan cairan di atas tray	[m]
h	= $(tp \cdot Q)/0,2207$ tinggi cairan di atas tray	[m]
L	panjang bafel (0,42 m)	[m]
n	jumlah bafel	[-]
Pe	<i>Peclet number</i>	[-]
Q	laju alir air	[L/detik]
t	waktu pengamatan	[detik]
tp	waktu tinggal	[detik]
u	= $Q/(d \cdot h)$, kecepatan horizontal cairan	[m/detik]
x	jarak aliran setiap saat	[m]
X	persentasi panjang bafel	[%L]
Y	tinggi bafel	[m]
Z	= x/H , <i>partial distance</i>	[-]
σ^2	variance	[detik ²]
γ	kemiringan bafel	[°]
θ	= t/t_p , <i>reduced time</i>	[-]

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih ditujukan kepada Ivan Kholid, ST dan Atok Harianto, ST (Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, Surabaya) atas partisipasinya dalam penelitian.

Daftar Pustaka

Ashley, M.J., and G.G. Hasselden, (1973), "The Improvement of Sieve Tray Performance by Controlled Vapour-Liquid Contacting", *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, 51(19), 188-191

Ani, C.C., B. Davies, dan K.E. Porter, (1996), "The Distribution of the Liquid Flow Over the Outlet Weir of a Sieve Plate and the Effect On Tray Efficiency," *12th International Congress of Chemical and Engineering*, Praha, Czech Republic, 1 – 9

Bennet, D. L., H. J. Grimm, (1991), "Eddy Diffusivity for Distillation Sieve Trays", *AIChE J*, vol.37,No.4, 589-597

Foss A.S., J.A. Gerster, and R.L. Pigford, (1958), "Effect of Liquid Mixing on The Performance of Bubble Trays", *AIChE. J*, vol 4, no 2, 231-239

Fogler, H. S., (1992), "*Elements of Chemical Reaction Engineering*", Prentice-Hall International, Inc., 2nd ed., 766-771

Fachrizal, T. dan Payangan, S. T., (2004), "Karakteristik Pencampuran Fluida Dengan Berbagai Persentase Panjang Baffle Pada Sieve Tray Sistem Udara-Air", *Skripsi Teknik Kimia ITS*.

Lockett, M.J., (1986), "*Distillation Tray Fundamentals*", Cambridge University Press, New York, 160-161

Levenspiel O., (1972), "*Chemical Reaction Engineering*", John Willey&Sons, 2nd Edition, 272-273

Perry, R. H., C. H. Chilton, (1993), "*Unit Operation of Chemical Engineering*", International Student, 5th Edition, Mc. Gaw Hill Book C., Singapore

Pudjiastuti L., (2002), "Pengaruh Jumlah dan Kemiringan *Baffle T-By* terhadap Derajat Pencampuran dan Efisiensi *Sieve Tray*", *Thesis Pasca Sarjana Teknik Kimia ITS*

Seader J.D., E. J. Henley, (1998), "*Separation Process Prinsiples*" John Willey & Sons Inc., 303-304

Silaban S., D. N. Sari , (2002), "Pengaruh kemiringan *Baffle T-by* Dengan *Side Riser* Terhadap Pencampuran Fluida Pada *Sieve tray* Sistem udara – air", *Skripsi Teknik Kimia ITS*.

Tedder, D.W., J. L. Bravo, B. M. Parker, T. J. Parker, (1993), "Improving Hydraulics and Efficiencies with the T-by Sieve Tray", *AIChE J.*, Vol. 39, 569-580

Wicaksono A., dan B. E. Prasetiawan, (2003), "Peningkatan Kinerja *Sieve Tray* dengan Pemakaian *Baffle T-By* pada Ketinggian Tertentu terhadap Pencampuran Fluida Sistem Udara – Air", *Skripsi Teknik Kimia ITS*