

KEBERLAKUAN MODEL HB-GFT SISTEM n-HEKSANA – MEK – AIR PADA EKSTRAKSI CAIR-CAIR KOLOM ISIAN

Agus Mirwan

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

Email: agusmirwan@yahoo.com

Abstrak-Ekstraksi cair-cair dalam kolom isian merupakan proses pemisahan fasa cair yang memanfaatkan perbedaan kelarutan suatu zat. Tipe ekstraksi ini termasuk kedalam tipe ekstraksi kolom vertikal tanpa berpengaduk (unagitated) selain kolom semprot (spray) dan kolom pelat. Operasi ekstraksi cair-cair yang baik sangat dipengaruhi oleh karakteristik perpindahan zat terlarut (solute). Karakteristik ini dapat dikuantifikasikan dengan suatu nilai yang disebut dengan koefisien perpindahan massa. Koefisien perpindahan massa ini sangat penting untuk diketahui dalam perancangan kolom ekstraksi cair-cair dan nilainya dapat dicari dengan menggunakan model-model estimasi koefisien perpindahan massa baik di fasa dispersi maupun fasa kontinyu. Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan keberlakuan model Handloss-Baros – Garner-Foord-Tayeban (HB-GFT) pada proses ekstraksi cair-cair menggunakan prototipe kolom transparan dan jenis isian berupa bola-bola kecil dengan variasi laju alir fasa kontinyu dan fasa dispersi pada rentang tetesan bersirkulasi ($Re = 10 - 200$). Dari penelitian ini didapatkan bahwa jenis isian, ukuran tetesan, dan laju alir fasa kedua (dispersi dan kontinyu) memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap proses perpindahan massa yang dinyatakan dengan koefisien perpindahan massa keseluruhan (K_{OD}). Data laju alir dan komposisi masing-masing fasa di aliran masuk dan keluar kolom dianalisis dengan menggunakan alat kromatografi gas (GC) yang ditunjukkan dengan makin besar laju alir fasa dispersi (Q_d), koefisien perpindahan massa keseluruhan (K_{OD}) makin kecil. Hal ini disebabkan bahwa ukuran diameter tetesan disepanjang kolom isian dianggap sama. Dan keberlakuan model HB-GFT untuk dinamika tetesan sirkulasi internal ($170 < Re < 200$) merupakan kombinasi terbaik dalam penentuan K_{OD} dengan standar deviasi sebesar 3,2%.

Keywords: ekstraksi, kolom isian, perpindahan massa.

Abstract-Liquid-liquid extraction in packed column is a process of liquid phase separation in which a liquid solution (the feed) is contacted with an immiscible or nearly immiscible liquid (solvent). This type of extraction is a kind of vertical column extraction type without agitator (unagitated column) besides spray column and plate column. Good operation of liquid-liquid extraction hardly influenced by solute transfer characteristic. This characteristic can be quantification with a value so-called with mass transfer coefficient. Mass transfer coefficient is importance in order to be known in scheme of liquid-liquid extraction column and the values can be searched by using estimation models of mass transfer coefficient either in dispersion phase and also continue phase.

The aim of this research is to prove model applying Handloss-Baros - Garner-Foord-Tayeban (HB-GFT) at liquid-liquid extraction process using transparent column prototype and packing type of small sphere with various of flow rate continue phase and dispersion phase at circulation drop spread ($Re = 10 - 200$). From this research got that packing type, droplet size, and flow rate phase (dispersion and continue) gives influence that is enough significant to mass transfer process that expressed with overall mass transfer coefficient (K_{OD}). Flow rate and composition each phase in inlet and outlet column data are analyzed by using gas chromatography equipment (GC) that showed more and more big dispersion phase (Q_d) flow rate, mass transfer coefficient (K_{OD}) more and more small. This caused that drop diameter measure along the length of packing column assumed to be same. And model applying HB-GFT for internal circulation drop dynamics ($170 < Re < 200$) is best combination in determination of K_{OD} with deviation standard equal to 3,2%.

Keywords: extraction, packing column, mass transfer

PENDAHULUAN

Ekstraksi cair-cair atau yang dikenal dengan ekstraksi *solvent* merupakan proses pemisahan fasa cair yang memanfaatkan perbedaan kelarutan zat terlarut yang akan dipisahkan antara larutan asal dan pelarut pengeksrak (*solvent*). Aplikasi ekstraksi cair-cair terbagi menjadi dua kategori yaitu aplikasi yang bersaing langsung dengan operasi pemisahan lain dan aplikasi yang tidak mungkin dilakukan oleh operasi pemisahan lain. Apabila ekstraksi cair-cair menjadi operasi pemisahan yang bersaing dengan operasi pemisahan lain, maka biaya akan menjadi tolak ukur yang sangat penting.

Distilasi dan evaporasi merupakan operasi pemisahan yang produknya berupa senyawa-senyawa murni sedangkan operasi ekstraksi cair-cair menghasilkan campuran senyawa-senyawa sebagai produk. Campuran ini harus dipisahkan lagi dengan operasi pemisahan lain seperti distilasi ataupun evaporasi. Hal inilah yang menyebabkan ekstraksi relatif lebih mahal dibandingkan dengan operasi pemisahan lain. Akan tetapi ekstraksi cair-cair menjadi operasi pemisahan yang unggul ketika larutan-larutan yang akan dipisahkan mempunyai kemiripan sifat-sifat fisiknya yaitu titik didih yang perbedaannya relatif kecil. Keunggulan lain dari ekstraksi cair-cair ini adalah dapat beroperasi pada kondisi ruang, dapat memisahkan sistem yang memiliki sensitivitas terhadap temperatur, dan kebutuhan energinya relatif kecil.

Prinsip dasar ekstraksi cair-cair ini melibatkan pengontakan suatu larutan dengan pelarut (*solvent*) lain yang tidak saling melarut (*immisible*) dengan pelarut asal yang mempunyai densitas yang berbeda sehingga akan terbentuk dua fasa beberapa saat setelah penambahan *solvent*. Hal ini menyebabkan terjadinya perpindahan massa dari pelarut asal ke pelarut pengeksrak (*solvent*). Perpindahan zat terlarut ke dalam pelarut baru yang diberikan, disebabkan oleh adanya daya dorong (*dirving force*) yang muncul akibat adanya beda potensial kimia antara kedua pelarut. Sehingga proses ekstraksi cair-cair merupakan proses perpindahan massa yang berlangsung secara difusional (Laddha dan Degaleesan, 1978).

Proses ekstraksi cair-cair berlangsung pada suatu alat yang dirancang sedemikian rupa sehingga mempunyai luas permukaan yang mencukupi untuk terjadinya kontak antar fasa-fasa yang terlibat (fasa kontinyu yang berisi zat terlarut dan fasa dispersi)

sehingga distribusi komposisi dalam kedua fasa menjadi lebih sempurna dan berhasil dengan baik (Ariono dkk, 2006). Dinamika tetesan yang terjadi disepanjang kolom isian (*packing column*) akan mengalami perpecahan dan/atau penggabungan antar tetesan sebagai akibat tetesan menabrak isian yang ada didalam kolom. Pada prosesnya, tetesan bergerak mendekati isian, menabrak isian dan pecah menjadi tetesan dengan diameter yang lebih kecil kemudian bergerak disela-sela unggun isian, ada yang terperangkap disela-sela isian, terakumulasi sesaat selanjutnya meninggalkan unggun isian dengan diameter yang lebih besar. Peristiwa terperangkapnya tetesan ini disebabkan oleh laju alir dari tetesan yang tidak cukup kuat mendorong tetesan keluar dari unggun isian (Ariono dkk, 2006). Proses terjadinya kontak ini menyebabkan luas permukaan kontak semakin besar dan waktu kontakannya semakin lama sehingga proses perpindahan massanya menjadi lebih baik.

Berdasarkan bilangan *Reynold* (*Re*), keadaan suatu tetesan dapat dikelompokkan menjadi tiga keadaan, yaitu: (1) Tetesan diam, dimana tetesan mempunyai *Re* kurang dari 10 sehingga tetesan bergerak dibawah kecepatan turbulennya dan dinamika atau pergerakan tetesan ke atas juga diam tidak bergerak baik berotasi maupun berosilasi, (2) Tetesan bersirkulasi, dimana tetesan mempunyai *Re* antara 10 – 200. Laju pergerakan tetesan dibawah kecepatan maksimumnya dan gerakannya disertai dengan rotasi terhadap porosnya, dan (3) Tetesan berosilasi, dimana tetesan mempunyai *Re* lebih dari 200 sehingga dalam pergerakannya ke atas mengalami kembang kempis. Hal ini disebabkan adanya gerakan ke arah θ (*vortex*). Proses osilasi yang normal tidak menyebabkan tetesan menjadi pecah dan kecepatannya tidak berdampak pada frekuensi osilasi. Pada fasa dispersi mempunyai pengaruh yang kecil terhadap osilasi, terkecuali jika viscositasnya sangat tinggi.

Koefisien perpindahan massa merupakan tingkat kemudahan suatu massa senyawa untuk berpindah dari suatu larutan ke larutan lain. Koefisien perpindahan massa ini dapat dibagi menjadi tiga, yaitu koefisien perpindahan massa keseluruhan (*overall*), koefisien perpindahan massa fasa kontinyu, dan koefisien perpindahan massa fasa terdispersi. Koefisien perpindahan massa keseluruhan merupakan fungsi kompleks

dari koefisien perpindahan massa fasa kontinyu dan koefisien perpindahan massa fasa terdispersi. Dan juga fungsi kompleks dari difusivitas, viskositas, densitas, tegangan permukaan dan turbulensi.

Koefisien perpindahan massa keseluruhan dapat ditentukan dengan dua cara, yaitu dari perhitungan dan percobaan

ekstraksi cair-cair. Cara perhitungan berdasarkan pada pendekatan model estimasi yang banyak ditemukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Model-model estimasi koefisien perpindahan massa di fasa dispersi dan fasa kontinyu disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Korelasi estimasi harga-harga koefisien perpindahan massa

Keadaan Tetesan	Kondisi NRe Tetesan	Model Koefisien Fasa Dispersi	Model Koefisien Fasa Kontinyu
Diam (<i>stagnant</i>)	Re<10	Treybal $k_d = \frac{2\pi^2 D_d}{3d}$	Rowe $Sh_c = 2,076(Re)^{0.5} (Sc)^{0.5}$
Sirkulasi	10<Re<200	Kroning & Brink (KB) (1950) $k_d = 17,9 \cdot D_d/d_p$ Handlos & Baron (HB) (1957) $k_d = \frac{0,00375 \cdot U_t}{1 + \frac{\mu_d}{\mu_c}}$	Garner-Foord-Tayeban (GFT) $Sh_c = 0,45(126 + 1,8(Re)^{0.5} (Sc)^{0.46})$ Higbie $k_c = \frac{4D_c \cdot U}{\pi d_c}$
Osilasi	Re>200	Rose-Kintner (RK) $k_d = 0,45 \cdot (\omega D_d)^{0.5}$ Angelo - Lighfoot $k_d = \frac{\sqrt{4\omega D_d (1 + \varepsilon\omega)}}{\pi}$	Garne-Tayeban (GT) (1960) $Sh_c = 50 + 0,0085(Re)(Sc)^{0.7}$ Treybal (1980) $Sh_c = 0,725(Sc)^{0.42} (Re)^{0.5} (1 - \phi_d)$ Siebert & Fair (1988) $Sh_c = 0,698(Sc)^{0.42} (Re)^{0.5} (1 - \phi_d)$

Dimana :

$$\varepsilon\omega = \varepsilon + (3/8) \varepsilon^2 \quad (1)$$

Bilangan Sherwood pada fasa kontinyu

$$Sh_c = \frac{k_c d_{vs}}{D_c} \quad (2)$$

$$Sc = \frac{\mu_c}{D_c \rho_c} \quad (3)$$

$$Re = \frac{U_s \rho d_{vs}}{\mu} \quad (4)$$

Koefisien perpindahan massa keseluruhan berdasarkan fasa dispersi dari perhitungan (*K_{OD-cal}*) dihitung dengan menggunakan model estimasi koefisien perpindahan massa di fasa dispersi, diperoleh *k_d* dan di fasa kontinyu, diperoleh bilangan Sherwood (*Sh_c*). Hubungan *Sh_c* dengan koefisien perpindahan massa doi fasa kontinyu (*k_c*) diperoleh dari persamaan berikut :

$$Sh_c = \frac{k_c d_c}{D_c} \quad (5)$$

$$k_c = \frac{Sh_c D_c}{d_c} \quad (6)$$

Sehingga *K_{OD-cal}* ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{1}{K_{OD}} = \frac{1}{k_d} + \frac{m}{k_c} \quad (7)$$

Sedangkan koefisien perpindahan massa keseluruhan yang berdasarkan percobaan pada operasi ekstraksi cair-cair dalam kolom isian (*K_{OD-perc}*) ditentukan dari harga konsentrasi zat terlarut (*solute*) di aliran masuk kolom dan keluar kolom. Nilai *number of transfer unit (N_{tOD})* dihitung dengan persamaan berikut (Treybal, 1980).

$$N_{tOD} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(y^* - y)} + \frac{1}{2} \ln \frac{1 - y_1}{1 - y_2} + \frac{1}{2} \ln \frac{y_1(r-1)+1}{y_2(r-1)+1} \quad (8)$$

Tinggi isian dalam kolom ekstraksi cair-cair pada kolom bening dapat diukur. Jika *N_{tOD}* dan tinggi isian telah diketahui, maka *Height*

of transfer unit (H_{tOD}) dapat ditentukandengan persamaan berikut :

$$Z = H_{tOD} \times N_{tOD} \quad (9)$$

$$H_{tOD} = Z / N_{tOD} \quad (10)$$

Koefisien perpindahan massa keseluruhan (*overall*) berdasarkan fasa dispersi ($K_{OD-perc}$) dapat dihitung dari H_{tOD} dengan menggunakan persamaan berikut (Treybal, 1980)

$$H_{tOD} = \frac{E}{K_{OD}(1-y)_{*M}} \quad (11)$$

$$K_{OD} = \frac{E}{H_{tOD}(1-y)_{*M}} \quad (12)$$

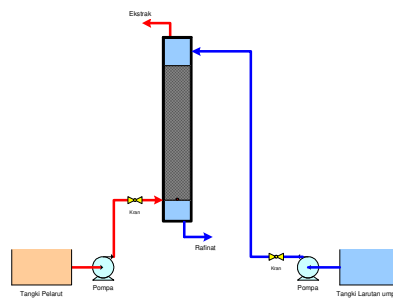
$$(1-y)_{*M} = \frac{(1-y) - (1-y^*)}{\ln \left[\frac{(1-y)}{(1-y^*)} \right]} \quad (13)$$

Banyaknya korelasi-korelasi untuk mencari koefisien perpindahan masa fasa dispersi maupun fasa kontinyu khususnya untuk kondisi tetesan yang bersirkulasi, namun masih belum ada petunjuk tentang kombinasi korelasi-korelasi yang paling sesuai.

Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan keberlakuan model Handloss-Baros-Garner-Foord-Tayeban (HB-GFT) pada proses ekstraksi cair-cair menggunakan prototipe kolom transparan dan jenis isian berupa bola-bola kecil dengan variasi laju alir fasa kontinyu dan fasa dispersi pada rentang tetesan bersirkulasi ($Re = 10 - 200$).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan kolom ekstraksi cair-cair dengan tipe vertikal, berbentuk kolom yang berpenampang persegi panjang ($4,5 \times 10$ cm) dan tembus pandang dengan alasan agar dinamika tetes yang terjadi didalam kolom tersebut mudah untuk dilihat dan diamati. Operasinya berlangsung pada temperatur dan tekanan ruangan, sedangkan arah alirannya berlawanan dimana fasa dispersi dialirkan dari bawah dan fasa kontinyu dialirkan dari atas kolom seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Dalam pelaksanaan penelitian ini menggunakan sistem air – metil etil keton (MEK) – n-heksana.



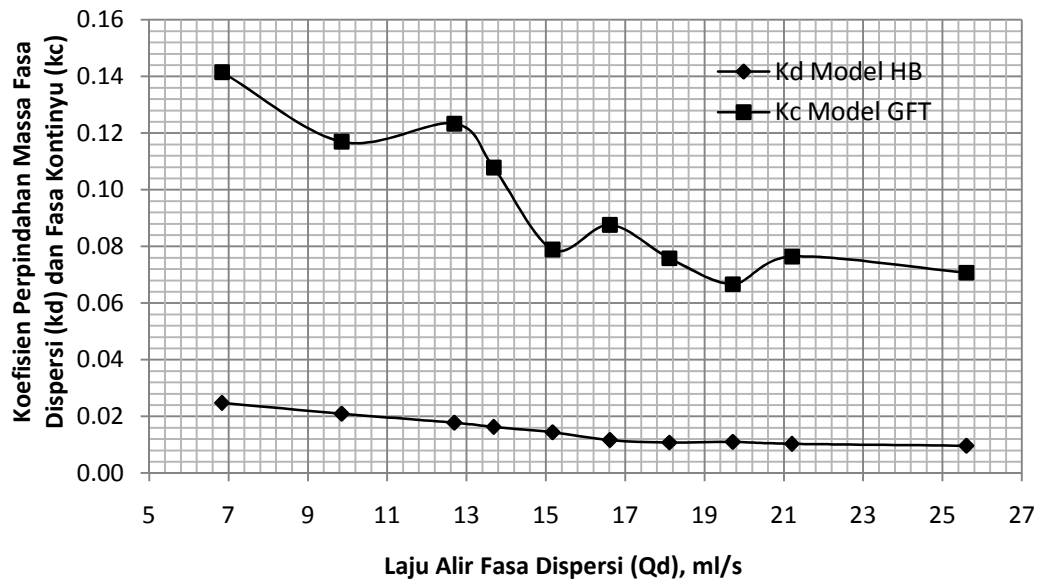
Gambar 1. Seperangkat alat ekstraksi cair-cair jenis kolom isian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini meliputi peramalan data kesetimbangan, penentuan bilangan Reynold (Re) pada aliran fasa dispersi, penentuan koefisien perpindahan massa keseluruhan dari percobaan, dan penentuan koefisien perpindahan massa keseluruhan secara teortis.

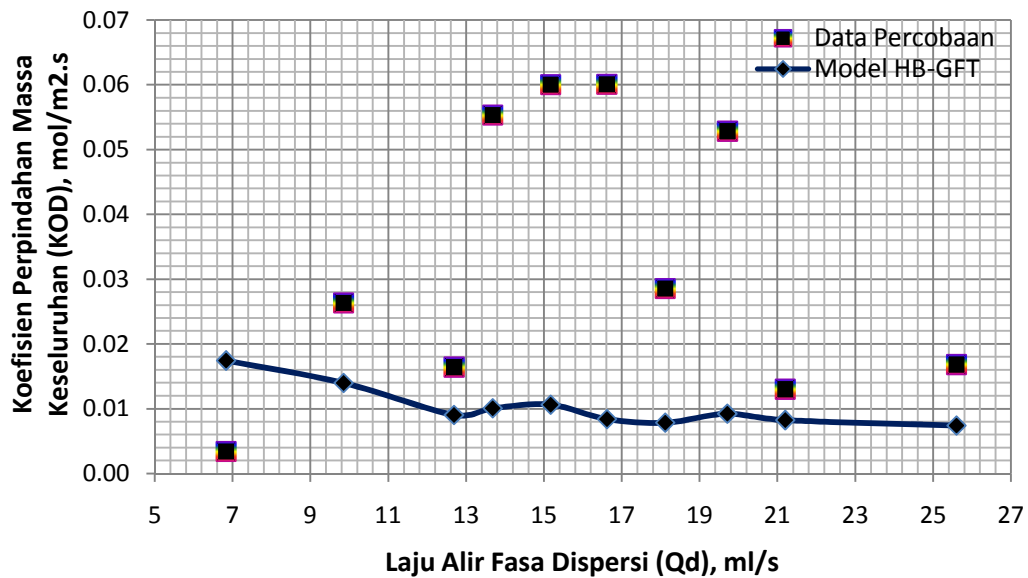
HASIL DAN PEMBAHASAN

Model HB-GFT ini digunakan untuk menghitung koefisien perpindahan massa di fasa dispersi (k_d) dan fasa kontinyu (k_c). Untuk menentukan besarnya koefisien perpindahan massa diperlukan harga diameter tetesan. Dalam penelitian ini ukuran diameter rata-rata tetes dihitung dengan persamaan Sauter (d_{vs}) yang digunakan untuk menghitung bilangan Reynold tetesan (Re) dan mengetahui serta memilih korelasi koefisien perpindahan massa yang sesuai. Hasil perhitungan nilai koefisien perpindahan massa fasa dispersi (k_d) dan fasa kontinyu (k_c) terhadap laju alir fasa dispersi dengan sistem air-MEK-heksana ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.

Gambar 2 dan 3 menunjukkan bahwa adanya pengaruh laju alir fasa dispersi dengan jenis isian bola-bola kecil terhadap laju perpindahan massa yang dinyatakan dengan koefisien perpindahan massa fasa dispersi (k_d) dan koefisien perpindahan massa fasa kontinyu (k_c) dan koefisien perpindahan massa keseluruhan (K_{OD}) yang besar terjadi pada laju alir fasa dispersi (Q_d) yang kecil.



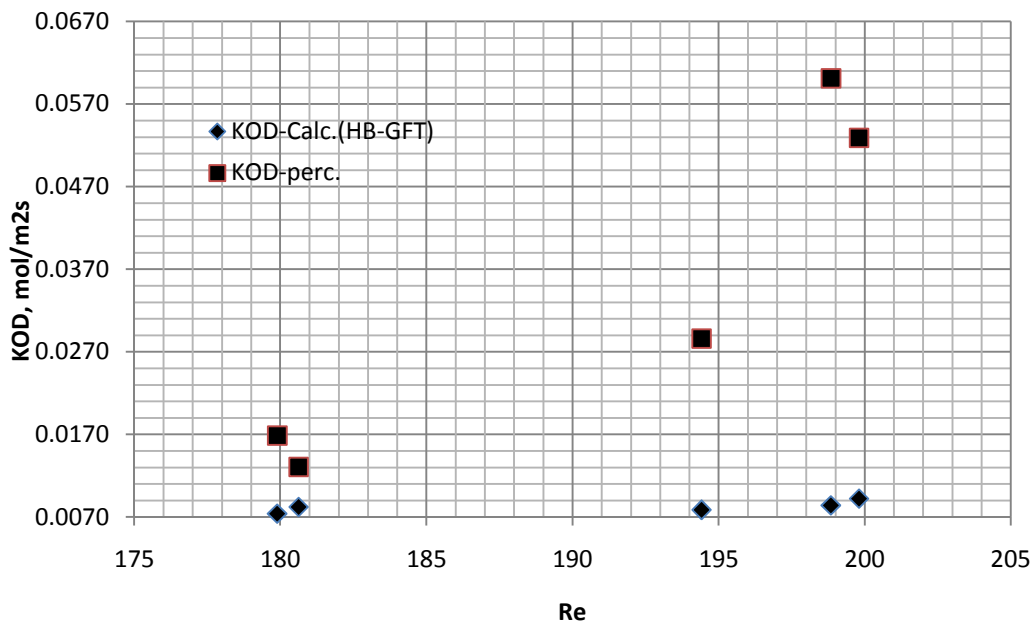
Gambar 2. Hubungan koefisien perpindahan massa fasa dispersi (kd) dan fasa kontinyu (kc) model HB-GFT terhadap variasi laju alir fasa dispersi (Qd) dan laju alir fasa kontinyu (Qc) sebesar 5,476 ml/s.



Gambar 3. Hubungan koefisien perpindahan massa keseluruhan yang perhitungannya menggunakan data percobaan dan model HB-GFT terhadap variasi laju alir fasa dispersi (Qd) dan laju alir fasa kontinyu (Qc) sebesar 5,476 ml/s.

Hal ini disebabkan perhitungan k_d , k_c , dan K_{OD} yang menggunakan model HB-GFT untuk perhitungan diameter tetesannya masih menggunakan persamaan Sauter yang menganggap ukuran diameter tetesan yang terjadi disepanjang kolom adalah sama. Karena hasil pengamatan perilaku tetesan yang terjadi disepanjang kolom isian menunjukkan hal yang sebaliknya. Dimana perilaku tetesan yang bergerak sepanjang kolom mengalami perpecahan dan penggabungan menjadi tetesan yang

berukuran kecil sebagai akibat adanya tetesan menabrak isian yang berada dalam kolom. Banyaknya ukuran diameter tetesan yang kecil menyebabkan luas permukaan kontak antara fasa dispersi dan fasa kontinyu makin besar sehingga koefisien perpindahan massa keseluruhan juga besar (Ariono dan Mirwan, 2008). Dengan kata lain ukuran tetes yang kecil dan laju kedua fasa (dispersi dan kontinyu) memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap perpindahan massanya (Hashem dan Bassuoni, 2007).



Gambar 4. K_{OD} -calc terhadap Re untuk kombinasi HB-GFT (sirkulasi internal).

Gambar 4. menunjukkan bahwa titik-titik dari K_{OD} -calc untuk kombinasi HB-GT paling mendekati K_{OD} -perc. Kombinasi model estimasi yang baik harus menghasilkan K_{OD} -calc yang paling mendekati tetapi tidak boleh melebihi dari nilai koefisien perpindahan massa yang sebenarnya (K_{OD} -perc). K_{OD} berbanding terbalik dengan tinggi kolom (Z) sehingga apabila K_{OD} -calc lebih besar dari K_{OD} -perc, maka akan menghasilkan perhitungan tinggi kolom yang tidak mencukupi kebutuhan operasi sebenarnya. Hal ini tidak diinginkan dalam perancangan suatu kolom ekstraksi cair-cair. Diketahui juga bahwa untuk dinamika tetesan sirkulasi internal ($170 < Re < 200$) hasil perhitungan simpangannya diperoleh dari gabungan model estimasi Handlos-Baron (k_d) dan Garner-Foord-Tayeban (k_c) dengan nilai simpangan rata-rata sebesar 3,2%. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mansyur-Bayu (2004) bahwa korelasi HB-GFT (Handlos-Baron dan Garner-Foord-Tayeban) memberikan hasil yang terbaik untuk dinamika tetesan sirkulasi internal. Simpangan rata-rata tidak cukup mewakili ketepatan suatu kombinasi model estimasi dalam menghitung koefisien perpindahan massa *overall*.

KESIMPULAN

Hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa keberlakuan model HB-

GFT untuk dinamika tetesan sirkulasi internal ($170 < Re < 200$) merupakan kombinasi terbaik dalam penentuan K_{OD} dengan standar deviasi sebesar 3,2%. Hal ini ditunjukkan dengan adanya pengaruh yang cukup signifikan dari jenis isian, ukuran tetesan, dan laju alir fasa kedua (dispersi dan kontinyu) terhadap proses perpindahan massa yang dinyatakan dengan koefisien perpindahan massa keseluruhan (K_{OD}).

DAFTAR NOTASI

- HB-GFT = Handlos-Baron dan Garner-Foord-Tayeban
- k_d = koefisien perpindahan massa fasa dispersi
- k_c = koefisien perpindahan massa fasa kontinyu
- K_{OD} = koefisien perpindahan massa keseluruhan
- K_{OD} -calc = koefisien perpindahan massa keseluruhan perhitungan
- K_{OD} -perc = koefisien perpindahan massa keseluruhan percobaan
- MEK = metil etil keton
- Q_c = laju alir fasa kontinyu, ml/detik
- Q_d = laju alir fasa dispersi, ml/detik
- Re = bilangan Reynold

DAFTAR PUSTAKA

- Arfianti, D., (2004), *Koefisien Perpindahan Massa Fasa Kontinyu Ekstraksi Cair-Cair Mek-N-Heksana-Air Dalam Kolom Isian*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Ariono, D., Sasongko, D., Kusumo, P., (2006), *Dinamika Tetes Dalam Kolom Isian*, *Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia*, FPUO 14. 1 – 5.
- Ariono, D., Sasongko, D., Purwasasmita, M., Kusumo, P., (2008), *Pengaruh Jenis Isian Terhadap Dinamika Tetes Fasa Dispersi Dalam Kolom Isian*, *Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses Universitas Diponegoro Semarang*, ISSN 1411 – 4216, K.085.
- Ariono, D., Mirwan, A., (2008), *Dinamika Tetes dan Koefisien Pindah Massa Pada Ekstraksi Cair-Cair Dalam Kolom Isian*, *Seminar Nasional Rekayasa Kimia & Proses Universitas Diponegoro Semarang*, ISSN 1411 – 4216, A.096.
- Hashem, M. A., El-Bassuoni, A. A., (2007), *Drop Formation Mass Transfer Coefficients in Extraction Columns*, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering Journal*. Vol. 41, No. 5, 530 – 535.
- Hume, A. P., Weatherley, L. R., Patera, J., (2003), *Trajectories of Charged Drops in a Liquid-Liquid System*, *Chemical Engineering Journal*, 95, 171 – 177.
- Kumar, A., Harland, S., (1996), *Unified Correlations for Prediction of Drop Size in Liquid-Liquid Extraction Columns*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 35, 2682 – 2695.
- Laddha, G.S., Degaleesan, T.E., (1976), *Transport Phenomena in Liquid Extraction*, Tata Mc-Graw Hill Publishing Co. Ltd, New Delhi, 131 – 145.
- Mirwan, A., D. R. Wicakso., (2008), *Pengaruh Isian Jenis Bola Kaca Terhadap Dinamika Tetes Dan Koefisien Pindah Massa Ekstraksi Cair-Cair Dalam Kolom Isian*, *Jurnal Info Teknik Fakultas Teknik UNLAM*, ISSN 0853-2508 Volume 9 No.2
- Nababan, R. F., (2006), *Penerapan Model HB-GFT Proses Ekstraksi Cair-Cair Sistem MEK – Air – n-Heksan Dalam Kolom Isian*, Laporan Tugas Akhir Penelitian, Institut Teknologi Bandung.
- Seibert, A. F., Fair, J. R., (1988), *Hydrodynamics and Mass Transfer in Spray and Packed Liquid-Liquid Extraction Columns*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 27, 470 – 481.
- Treyball, R., (1980), *Mass Transfer Operation*, 3rd edition, Mc Graw Hill, New York.
- Treyball, R., (1950), *Liquid-Liquid Extraction*, Mc Graw Hill, New York.
- Verma, R. P., Sharma, M. M., (1975), *Mass Transfer in Packed Liquid-Liquid Extraction Columns*, *Chemical Engineering Science*, Vol. 30, pp. 279 – 292.