

Pemakaian Distribusi Tetesan Fasa Terdispersi untuk Evaluasi Unjuk Kerja proses Ekstraksi cair-cair menggunakan Kolom Isian

Priyono Kusumo

priyo330@yahoo.com

ABSTRAKSI

Evaluasi unjuk kerja ekstraksi cair-cair dalam kolom isian (packed column) hingga saat ini belum dapat memberikan hasil yang memuaskan karena korelasi-korelasi yang digunakan masih bersifat empiris serta daerah keberlakuannya sangat terbatas. Salah satu penyebab keterbatasan berlakunya korelasi tersebut ialah penggunaan anggapan bahwa dinamika cairan yang terdispersi dalam bentuk tetesan bersifat konstan (bentuk, ukuran serta jumlahnya), sehingga harga luas perpindahan massa dan harga koefisien perpindahan massa dalam kolom dianggap tetap. Kenyataannya dinamika tetesan dalam kolom tidak konstan akibat adanya tetesan yang bergabung dan pecah dalam jumlah yang tidak sama. Pada suatu harga diameter tetesan tertentu, ada penambahan jumlah tetesan akibat penggabungan tetesan-tetesan yang ukurannya lebih kecil serta adanya pengurangan jumlah tetesan akibat pecahnya tetesan menjadi tetesan-tetesan yang lebih kecil. Peristiwa penggabungan dan pemecahan tetesan dapat disebabkan berbagai faktor termasuk adanya isian yang menghalangi gerakan tetesan. Kejadian tersebut akan mempengaruhi laju proses perpindahan massa dari fasa kontinyu ke fasa terdispersi atau sebaliknya, karena adanya variasi luas permukaan kontak serta koefisien perpindahan massanya.

Pengamatan dinamika tetesan mulai saat pembentukan tetes hingga pergerakannya saat melewati sela-sela isian merupakan faktor penting dalam membangun model yang dapat menggambarkan unjuk kerja kolom isian. Dinamika tetesan tersebut dipengaruhi oleh berbagai variabel operasi dan variabel fisik. Eksperimen dinamika tetes yang dilakukan diarahkan untuk memperoleh distribusi ukuran tetes pada posisi ketinggian tertentu dan distribusi tersebut akan digunakan untuk pengembangan korelasi koefisien perpindahan massa di fasa dispersi dan fasa kontinyu.

Kata kunci: distribusi ukuran tetes, kolom isian.

ABSTRACT

Performance Evaluation of a liquid-liquid extraction in the columns (packed column) until now not been able to give satisfactory results due to the use correlations still empirical as well as the area is very limited validity. One cause of the limitations of entry into force of this correlation is the use of the assumption that the dynamics of liquid droplets are dispersed in the form of a constant (shape, size and number), so the price of the mass transfer area and mass transfer coefficient in the price column is considered fixed. In fact the dynamics of droplets in the column are not constant due to the droplets merge and break apart in the same amount. At a price of a particular droplet diameter, there is the addition of drops due to the incorporation of droplets smaller size and a reduction in the number of droplets due to droplet breakup into droplets smaller. Droplet merging and splitting events can be caused by various factors including the presence of a blocking stuffing droplet movement. The incident will affect the rate of mass transfer process of the dispersed phase to the continuous phase or vice versa, because of the wide variation in the contact surface and the mass transfer coefficient. Observation of the dynamics of the formation of droplets from now drops to the movement as it passes through the sidelines stuffing is an important factor in building a model that can describe the performance of the columns. The droplet dynamics are influenced by a variety of operating variables and physical variables. Drop dynamics experiments conducted aimed to obtain the drop size distribution at a certain height and position of the distribution will be used to develop a correlation coefficient of mass transfer in the continuous phase and phase dispersion.

Keywords: drops size distribution, form fields.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Ekstraksi cair-cair merupakan salah satu cara pemisahan campuran cair yang pada kondisi tertentu memiliki beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan cara pemisahan lain, seperti distilasi atau adsorpsi. Keunggulan tersebut antara lain ialah proses dapat berjalan pada kondisi ruang dengan kebutuhan energi yang relatif kecil. Ekstraksi cair-cair saat ini telah digunakan pada skala komersial misalnya di industri petroleum dimana proses ini dimanfaatkan untuk penghilangan senyawa-senyawa aromatik, sulfur, lilin dan resin pada pembuatan minyak pelumas.

Pemisahan campuran fasa cair dapat terjadi akibat perpindahan salah satu senyawa dalam campuran ke fasa cair lain yang kontak dengan campuran cair tersebut. Agar proses berjalan dengan cepat, kontak antara kedua cairan tersebut harus intim yaitu memiliki luas area permukaan kontak sangat luas serta hambatan perpindahan massa antar fasa cair-cair sangat rendah. Hal ini dapat dicapai bila salah satu cairan terdispersi di dalam cairan yang lainnya. Cairan yang terdispersi dalam bentuk tetesan disebut fasa terdispersi, sedangkan cairan yang lainnya yang mendispersi disebut fasa kontinyu.

Besarnya hambatan perpindahan massa yang dinyatakan dalam besaran koefisien perpindahan massa. Besaran koefisien perpindahan massa tersebut akan menggambarkan mudah tidaknya senyawa yang akan diekstraksi (*solute*) berpindah dari salah satu cairan ke cairan yang lainnya.

Evaluasi unjuk kerja (*performance*) unit proses atau rangkaian unit proses merupakan suatu hal yang harus dilakukan di industri kimia. Evaluasi tersebut selain untuk mengetahui unjuk kerja dari unit pemroses, juga dapat digunakan untuk memperkirakan peningkatan kapasitas yang dapat dicapai oleh unit pemroses tersebut. Evaluasi unjuk kerja ekstraksi cair-cair dalam kolom isian (*packed column*) hingga saat ini belum dapat memberikan hasil yang memuaskan karena korelasi-korelasi yang digunakan masih bersifat empiris serta daerah keberlakuannya sangat terbatas. Salah satu penyebab keterbatasan berlakunya korelasi tersebut ialah adanya penyederhanaan dinamika tetesan dalam fasa kontinyu. Penyederhanaan tersebut

antara lain ialah dengan mengasumsikan bahwa tetesan berbentuk bola dengan ukuran yang konstan walaupun tetesan tersebut bergerak disela-sela isian. Akibat dari penyederhanaan tersebut, korelasi koefisien perpindahan massa baik di fasa dispersi maupun di fasa kontinyu dikembangkan berdasarkan dinamika bola kaku. Model ini tidak dapat memberikan gambaran yang tepat dari peristiwa perpindahan massa atau proses pemisahan yang terjadi di dalam kolom, sehingga dengan model ini belum dapat diperoleh unjuk kerja kolom isian untuk ekstraksi cair-cair dengan memuaskan.

Adanya penggabungan tetesan yang menyebabkan berkurangnya jumlah tetesan ukuran kecil dan bertambahnya jumlah tetesan ukuran yang lebih besar serta adanya pemecahan tetesan yang mengakibatkan kejadian yang sebaliknya, mengakibatkan luas area perpindahan massa dan koefisien perpindahan massa dalam kolom harganya tidak konstan. Oleh sebab itu, bila dinamika tetesan yang digambarkan dalam bentuk perubahan distribusi ukuran tetesan dan sifat aliran dari tetesan terhadap ketinggian kolom dapat diketahui, maka hal tersebut dapat digunakan untuk meramalkan besarnya koefisien perpindahan massa dalam kolom. Dinamika tetesan yang dipengaruhi oleh berbagai variabel operasi dan variabel fisik, dikembangkan berdasarkan kepada neraca populasi tetesan.

1.2. Perumusan Masalah

Distribusi tetesan digunakan untuk menyatakan perubahan (evolusi) dalam ruang dan waktu suatu tetesan yang tak terhitung banyaknya. Pendekatan statistika biasa digunakan untuk menyatakan perubahan (evolusi) atau dikenal dengan distribusi. Penggunaan statistika dalam kajian ini dikarenakan adanya karakteristik dalam kelompok yang mempunyai jumlah sangat banyak dan mengalami perubahan setiap ruang dan waktu pada masing-masing karakteristik tersebut. Pembagian karakteristik kedalam ruang dan waktu tertentu akan sangat

membantu dalam menyelesaikan perhitungannya.

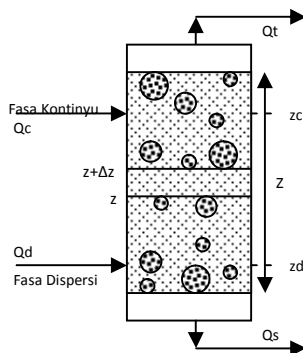
1.3. Tujuan Penelitian

Menerapkan konsep distribusi tetesan fasa terdispersi dalam perhitungan ekstraksi cair – cair. Membandingkan hasil penelitian ini dengan model yang disusun dalam penyelesaian perhitungan ini.

2. Kajian Teori

2.1. Konsep-konsep / Variabel yang digunakan

Pada proses ekstraksi cair-cair menggunakan kolom isian, populasinya adalah kelompok tetesan dengan berbagai ukuran dan bergerak sepanjang kolom isian. Adanya bahan isian menyebabkan perubahan ukuran tetes sepanjang kolom. Model distribusi untuk proses ekstraksi cair-cair dengan kontrol volum Adz seperti tampak pada Gambar 1, dapat dituliskan



Gambar 1. Kontrol dalam distribusi tetesan

Akumulasi = laju alir masuk – laju alir keluar + perubahan tetesan

$$\left(P(z, d) \Big|_{t+\Delta t} - P(z, d) \Big|_t \right) \frac{A\Delta z}{\Delta t} = Q_d \Big|_z - Q_d \Big|_{z+\Delta z} + R(z, d) A\Delta z \quad (1.)$$

$$\left(P(z, d) \Big|_{t+\Delta t} - P(z, d) \Big|_t \right) \frac{A\Delta z}{\Delta t} = \left\{ A \left[P(z, d) U_d(z, d) \right] - A \left[D_d(z, d) \frac{\partial}{\partial z} P(z, d) \right] \right\} \Big|_z - \left\{ A \left[P(z, d) U_d(z, d) \right] - A \left[D_d(z, d) \frac{\partial}{\partial z} P(z, d) \right] \right\} \Big|_{z+\Delta z} + R(z, d) A\Delta z$$

(2..)

Apabila seluruh suku dibagi dengan $A\Delta z$ kemudian dilakukan evaluasi pada $\Delta t \rightarrow 0$ dan $\Delta z \rightarrow 0$, maka diperoleh

$$\frac{\partial}{\partial t} P(z, d) = - \frac{\partial}{\partial z} \left[P(z, d) U_d(z, d) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[D_d(z, d) P(z, d) \right] + R(z, d) \quad (3.)$$

dimana $R(z, d)$ menggambarkan fenomena dinamika tetes yang menyebabkan ukuran tetes berubah sepanjang kolom. Persamaan (3) merupakan model persamaan yang digunakan untuk proses ekstraksi cair-cair pada kolom isian.

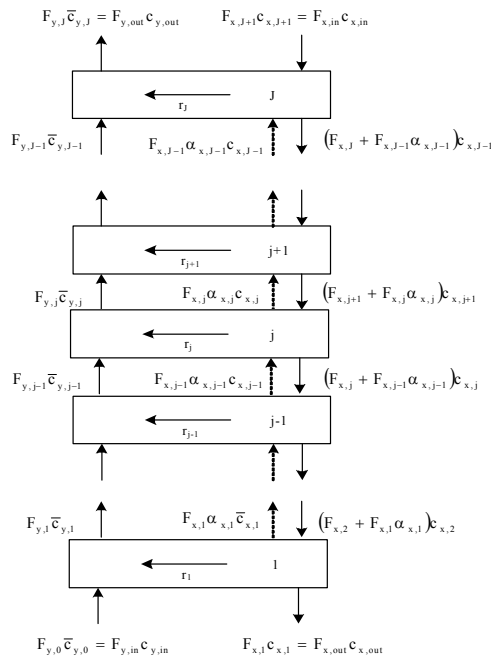
2.2. Model Penelitian

Pada dasarnya fungsi distribusi tetesan atau penyebaran ukuran tetesan sepanjang kolom adalah perubahan dari diameter tetesan yang dikelompokkan. Baik ukuran dan jumlah tetesan yang mempunyai ukuran sama. Dari distribusi tetesan yang telah didapat bisa dihitung besarnya perpindahan massa yang terjadi, khususnya difasa terdispersi. Untuk menyelesaikan persamaan (3) dapat diselesaikan dengan cara

- 1) Menyusun model kedalam bentuk kontaktor multi tahap (*stagwise contactor*) dalam keadaan tunak
- 2) Menyelesaikan secara numerik model tersebut
- 3) Memperoleh model fungsi distribusi melalui data percobaan yang dilakukan.

Dalam studi kasus ini dipilih poin yang pertama, yaitu menyusun model distribusi tetesan kedalam bentuk kontaktor multi tahap (*stagwise contactor*) dalam keadaan tunak. Pendekatan yang diambil:

- a. Ketidak idealan aliran fasa kontinyu dari aliran sumbat (*plug flow*) dinyatakan melalui faktor aliran balik (*back flow*)
- b. Perilaku fasa terdispersi dimodelkan sebagai tetesan yang terdistribusi pada ukuran tertentu
- c. Parameter operasi seperti ukuran tetesan, fraksi volume tetesan, kecepatan slip tetesan dan koefisien perpindahan massa akan bervariasi dari tahap ke tahap sesuai dengan distribusi tetesan



Gambar 2. Kontaktor multi tahap

2.3. Kaitan Antar Konsep/Variabel yang digunakan atau Penalaran Konsep

Model kontaktor multi tahap (*stagewise contactor*) dalam keadaan tunak dapat diuraikan sebagai berikut, aliran fasa kontinyu masuk dari puncak kontaktor (tahap ke J), fasa terdispersi dimasukkan dari bawah kontaktor (tahap ke 1). Dalam kondisi tunak perencanaan tetesan pada tahap ke J dapat dituliskan menjadi :

$$An_{j-1}(v)U_{d,j-1} - An_j(v)U_{d,j} + Ah.(B_j - D_j) = 0 \quad (4..)$$

dimana $n_j(v)$ adalah densitas tetesan bervolume v pada tahap ke j dan $U_{d,j}$ kecepatan tetesan bervolume v pada tahap ke j . Suku B_j dan D_j adalah pembentukan (Birth) dan penghilangan (Death) tetesan, yang disebabkan adanya bahan isian dan interaksi antar tetesan.

Untuk menyelesaikan sistem neraca tersebut, Hartland dan Kumar tahun 1999 memberikan rekomendasi pendekatan sebagai berikut :

1. Tetesan dikelompokkan dalam kelas – kelas dengan ukuran tertentu dengan cara diskritisasi ukuran tetesan menggunakan kriteria sebagai berikut :

$$V_i = 2^{i-1}v_i \text{ batas interval yang diijinkan}$$

$$\text{adalah } \sqrt{2^{2i-3}}v_1 < v_i < \sqrt{2^{2i-1}}v_1$$

2. Tetesan pecah menjadi dua ukuran tetesan seragam
3. Tetesan gabung hanya terdiri dari dua tetesan yang berukuran sama

Melalui pendekatan tersebut, bisa dituliskan menjadi

$$AU_{di,j}f_{i,j}\phi_j - AU_{di,j-1}f_{i,j-1}\phi_{j-1} = AH [Br_{i+1,j}f_{i+1,j}\phi_j - Br_{i,j}f_{i,j}\phi_j] + \left[\frac{2(AH)^2(\lambda h)_{i-1}f_{i-1,j}^2\phi_j^2}{v_{i-1}} - \frac{2(AH)^2(\lambda h)_i f_{i,j}^2\phi_j^2}{v_i} \right] \quad (5.)$$

Persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi bentuk matrik sebagai berikut

$$b_j X_j = W_j \quad (6.)$$

Matrik b_j merupakan matrik diagonal yang menyatakan interaksi pecah atau gabung antar tetesan yang berukuran sama dengan elemennya sebagai berikut

$$b_{i,i-1} = -\frac{2(AH)^2(\lambda h)_{i-1}f_{i-1,j}\phi_j}{v_i - 1} \quad (7.)$$

$$b_{i,i} = AU_{di,j} + AHBr_{i,j} + \frac{2(AH)^2(\lambda h)_i f_{i,j}\phi_j}{v_i} \quad (8.)$$

$$b_{i,i+1} = -AHBr_{i+1,j} \quad (9.)$$

mengingat diameter terkecil $d(\min)$ tidak bisa pecah lagi dan diameter terbesar $d(\max)$ tidak bisa bergabung lagi, maka elemen matrik $b_{1,1}$ dituliskan sebagai berikut

$$b_{1,1} = AU_{di,j} + \frac{2(AH)^2(\lambda h)_1 f_{1,j}\phi_j}{v_1} \quad (10.)$$

$$b_{M,M} = -AU_{dm,j} + AHBr_{M,j} \quad (11.)$$

Matrik kolom X dan W , elemen – elemennya adalah

$$X_{i,j} = f_{i,j} \phi_j \quad (12.)$$

$$W_{i,j} = AU_{di,j-1}f_{i,j-1}\phi_{j-1} \quad (13.)$$

Parameter yang mempengaruhi penyelesaian persamaan ini antara lain adalah laju pecah tetesan dan laju gabung tetesan, distribusi ukuran tetesan dan kecepatan tetesan.

Menurut Hamilton dan Prat (1984) yang melakukan penelitian menggunakan teknik kolometrik untuk menentukan laju pecah dan gabung tetesan, dikemukakan korelasi sebagai berikut

Laju pecah tetesan yang mempunyai diameter d_i

$$Br_i = 1,704d_i^{0,24}\phi^{-0,37} \quad (14.)$$

Laju gabung tetesan yang berdiameter d_i adalah

$$(\lambda h)_i = 0,0546d_i^{-0,36}\phi^{-0,5} \quad (15.)$$

Distribusi awal tetesan menggunakan fungsi distribusi tetesan yang diusulkan oleh Gal-Or dan Hoerscher (1955), sebagai berikut :

$$f = \left(\frac{6,04}{\sqrt{\pi d_{vs}^3}} \right)^{2/3} d_i^5 \exp \left[- \left(\frac{6,04}{\sqrt{\pi d_{vs}^3}} \right)^{2/3} d_i^2 \right] \quad (16.)$$

3. Metode Penelitian

3.1. Rancangan Penelitian

Percobaan dilakukan pada kolom pipih dan kolom setengah lingkaran dan terbuat dari bahan yang transparan/tembus pandang, sehingga semua yang terjadi didalam kolom dapat diamati dengan jelas. Digunakan bola kaca sebagai bahan isian. Pengamatan secara visual dengan menggunakan kamera digital dilakukan pada segmen ketinggian berturut-turut 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm dan 20-25 cm. Diameter tetesan dibagi dalam empat kelas d_1 0,5 – 1,5 mm, d_2 2 – 3 mm, d_3 3,5 – 4,5 mm dan d_4 5 – 6 mm.

3.2. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah bentuk tetesan fasa terdispersi yang terbentuk dalam kolom isian. Sample yang diamati adalah kelompok tetesan fasa terdispersi yang mengalami perubahan diameter selama bergerak sepanjang kolom isian.

3.3. Metode Pengumpulan Data

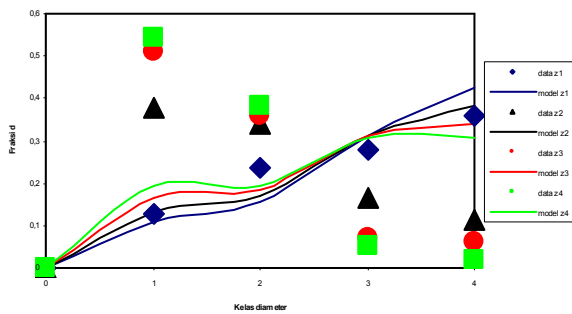
Data diperoleh dengan cara mengamati pergerakan tetesan fasa terdispersi sepanjang kolom yang melintas pada ketinggian tertentu dan diambil gambarnya (difoto). Setiap ketinggian tertentu diamati perubahan diameter tetesan fasa terdispersi melalui foto/gambar yang didapat.

4. Hasil dan Pembahasan

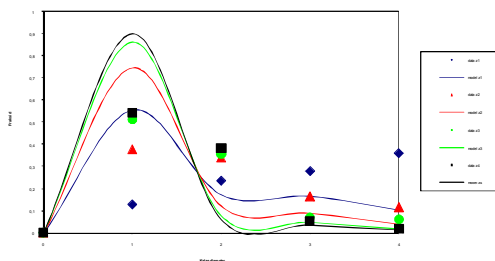
Melalui serangkaian simulasi dihasilkan serangkaian grafik yang menggambarkan distribusi ukuran tetesan pada segmen ketinggian kolom isian. Hasil simulasi model ini dibandingkan dengan hasil percobaan pendahuluan.

Ternyata model sangat dipengaruhi oleh tinggi/jarak antar tahap H. Semakin tinggi H semakin tinggi puncak kurva yang terbentuk dan sebaliknya. Gambar 4 menggunakan H = 0,01 m, puncak grafik landai dan hasil percobaan sangat beda jauh dibandingkan model. Gambar 5 dengan H = 0,05 puncak garfik tampak sangat menjulang, namun bila dibandingkan dengan hasil percobaan juga masih mempunyai error yang cukup tinggi. Untuk model yang menggunakan H = 0,020 hasil percobaan mempunyai kedekatan yang sama dan memiliki kesalahan yang relatif paling kecil, meskipun ada yang masih diatas 50 %. Fenomena ini bisa disimak melalui Gambar 6. Kesalahan yang masih cukup tinggi dikarenakan ada perbedaan pada model dan hasil percobaan. Pada model, sebelum fasa terdispersi masuk ke tahap 1/paling bawah, tetesan sudah terdistribusi sesuai persamaan (16), sedangkan pada percobaan fasa terdispersi langsung keluar dari distributor/nosel. Sehingga pada model saat memasuki tahap 1 tetesan berukuran besar sudah berkurang dan didominasi tetesan berukuran kecil. Sedangkan pada percobaan tetesan memasuki tahap 1 didominasi tetesan dengan ukuran besar. Setelah keluar/melalui segmen ketinggian pertama menuju ke segmen ketinggian ke dua dan seterusnya ukuran diameter tetes sudah berubah sehingga pada segmen ketinggian paling atas diameter tetesan didominasi oleh diameter yang kecil.

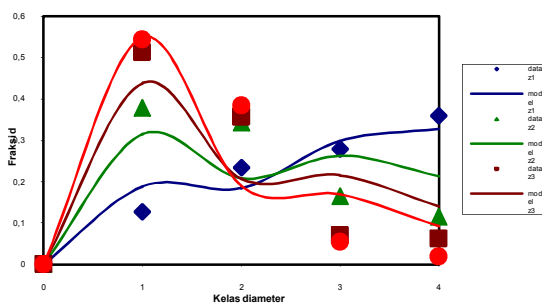
Kecenderungan dari hasil simulasi model kontakor multi tahap dan hasil percobaan sama-sama menyatakan bahwa diameter tetesan akan bergeser dari diameter tetesan yang besar ke diameter tetesan yang kecil seiring dengan meningkatnya jarak dari dasar kolom atau semakin meningkatnya tahap dihitung dari dasar kolom.



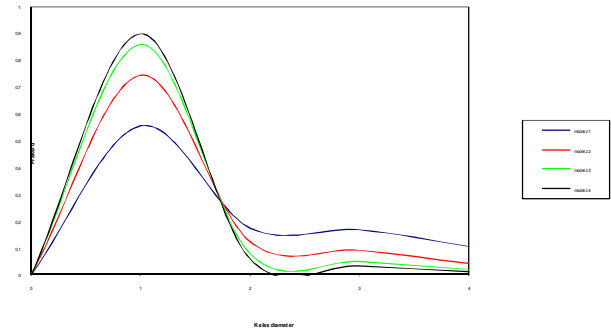
Gambar 4. Grafik distribusi tetesan model vs hasil percobaan dengan H model = 0,01 m



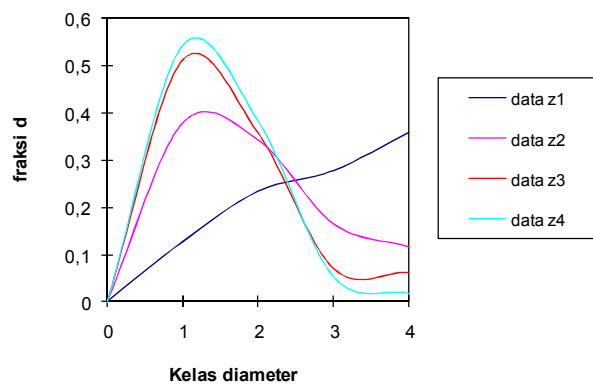
Gambar 5. Grafik distribusi tetesan model vs hasil percobaan dengan H model = 0,05 m



Gambar 6. Grafik distribusi tetesan model vs hasil percobaan dengan H model = 0,02 m



Gambar 7. Kecenderungan pergeseran ukuran distribusi tetesan model kontakor multi tahap



Gambar 8. Kecenderungan pergeseran ukuran distribusi tetesan data hasil percobaan

Gambar 7 dan 8 memperlihatkan fenomena pergeseran ukuran tetesan tersebut.

Pengaruh H atau ketinggian tiap tahap terhadap model dapat dijelaskan sebagai berikut, semakin tinggi tahap memberikan kesempatan tetesan untuk menempuh lintasan yang lebih panjang. Lintasan yang lebih panjang memungkinkan tetesan lebih banyak bertumbukan dengan bahan isian sehingga terjadi peristiwa pecahnya tetesan yang diikuti perubahan ukuran tetesan dari besar menjadi tetesan berukuran kecil-kecil. Bila diplot dalam grafik memberikan gambaran dominasi ukuran tetesan kecil pada tahap yang semakin tinggi/semakin keatas. Keadaan seperti ini sesuai dengan harapan, adanya bahan isian dalam kolom menyebabkan diameter tetesan semakin keatas semakin kecil ukurannya. Diameter yang kecil dalam jumlah banyak memberikan luas perpindahan massa yang semakin luas. Luas perpindahan massa yang

besar memungkinkan perpindahan massanya lebih besar lagi, sehingga tujuan menggunakan bahan isian bisa terpenuhi.

5. Kesimpulan

Melalui serangkaian kajian yang telah diuraikan diatas dapat disimpulkan beberapa hal penting:

- 1) Semakin tinggi nilai H pada model menyebabkan diameter tetesan yang terdistribusi didominasi ukuran tetesan yang kecil hingga pada tahap yang tertinggi dihitung dari bawah kolom.
- 2) Adanya fungsi distribusi yang ditempatkan pada saat memasuki tahap pertama pada dasar kolom, menyebabkan diameter tetesan pada tahap pertama pada model kontaktor multi tahap didominasi ukuran kecil. Sedangkan dari hasil percobaan tahap pertama didominasi tetesan dengan ukuran besar, karena tetesan langsung keluar dari nosel/distributor.
- 3) Diameter tetesan akan bergeser dari diameter tetesan yang besar ke diameter tetesan yang kecil seiring dengan meningkatnya jarak dari dasar kolom atau semakin meningkatnya tahap dihitung dari dasar kolom.
- 4) Model kontaktor multi tahap dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan apabila tahap yang diperhitungkan lebih banyak lagi, diperlukan kajian lebih lanjut untuk bisa menentukan jumlah tahap minimum yang bisa dimodelkan dengan kontaktor multi tahap ini. Untuk tahap yang relatif kecil memberikan prosentase kesalahan yang cukup tinggi.

Daftar notasi

A	Luas penampang kolom
B_r	Laju pecah tetesan
d	Diameter tetes
Dd	Koefisien difusi
H	Jarak/tinggi tahap
P	Fraksi volum tetesan pada fasa terdispersi

Ud	Kecepatan tetesan bervolume v
(λh)	Laju gabung tetesan
Φ_i	Holdup tetesan

Daftar Pustaka

1. Al Khani, S.D., C.Gourdon, dan G.Cassamata (1989), “*Dynamic and Steady State Simulation of Hydrodynamics and Mass Transfer in Liquid – Liquid Extraction Column*”, Chem. Eng. Sci., Vol 53., hal 325 – 339.
2. Hamilton, J. .A dan Pratt, H.R.C (1984): Droplet Coalescence and Breakage Rates in a Packed Liquid Extraction Column, *American Institute of Chemical Engineers Journal*, **30**, 3, 442-449.
3. Kumar A., Stanley Hartland (1999), “*Computation Strategies for Sizing Liquid – Liquid Extractor*”, Ind.Eng.Chem.Res., Vol 38, hal 1040 – 1058.
4. Ladda, GS, TE Degaleesan (1976), “*Transport Phenomena in Liquid Extraction*”, Tata MC Graw Hills Publishing Co. Ltd, New Delhi.
5. McCabe, W.L dkk, “*Unit Operation of Chemical Engineering*”, Edisi 5, Mc Graw Hill Book and Co, New York, hal 623 – 632, 648 – 731.
6. Mohanty S. (2000), “*Modeling of Liquid – Liquid Extraction Column : A Review*”, Review in Chemical Engineering, Vol 16 No. 3, hal 199 – 248
7. Rasrendra, C.B (2004), “*Pengembangan Model Ekstraksi Cair – Cair pada Kolom Isian Berdasarkan Distribusi Ukuran Tetesan*”, Tesis Magister Teknik Kimia ITB
8. Siebert, A.F. Fair, J.R. (1988), “*Hydrodynamic and Mass Transfer in Spray and Packed Column*”, Ind.Chem..Res., Vol 27, hal 470 – 481.