

Pengembangan Model Perpindahan Massa pada proses Ekstraksi Cair – Cair dalam kolom isian Raschig Ring kaca dan Bola kaca dengan konsep Distribusi Tetesan

Priyono Kusumo

PUSDI Lingkungan Hidup UNTAG Semarang
Jln.Pawiyatun Luhur Bendan Duwur Semarang
priyo330@yahoo.com

ABSTRAKSI

Konsep satuan perpindahan merupakan konsep dasar yang sering digunakan untuk evaluasi unjuk kerja kolom ekstraksi cair-cair. Adanya dinamika tetesan yang kompleks, seperti yang telah dijelaskan dalam langkah pertama, maka dinamika tetesan harus diperhitungkan dalam penggunaan konsep satuan perpindahan. Faktor dinamika tetesan yang dilibatkan dalam pemodelan evaluasi unjuk kerja kolom isian berdasarkan konsep satuan perpindahan ialah dalam bentuk distribusi ukuran tetesan. Agar faktor tersebut dapat diperhitungkan, maka dalam pengembangan model evaluasi ini dilakukan pendekatan secara diskret dimana kolom isian dibagi dalam beberapa segmen dan di tiap segmen distribusi ukuran tetesannya dianggap tetap. Hal ini sesuai dengan pola kuantifikasi dinamika tetesan yang dikembangkan pada langkah kedua.

Adanya distribusi ukuran tetesan di tiap segmen menyebabkan adanya berbagai harga koefisien perpindahan massa pada segmen tersebut. Hal ini dikarenakan bahwa ukuran tetesan yang berbeda akan memberikan harga koefisien perpindahan massa yang berbeda baik di sisi fasa kontinyu maupun di sisi fasa dispersi. Dengan pendekatan diskret maka di setiap segmen harga masing-masing koefisien perpindahan massa dapat ditentukan sesuai dengan kelas diameternya. Dengan anggapan bahwa laju perpindahan *solute* sebanding dengan jumlah tetesan, maka harga koefisien perpindahan massa disuatu segmen diambil harga rata-rata dengan pembobotan yang sama dengan fraksi ukuran tetesan. Langkah ini memungkinkan untuk mengetahui harga teoritik tinggi segmen tersebut.

Pendekatan distribusi tetesan untuk proses ekstraksi cair – cair pada kolom isian merupakan cara pemecahan seksama untuk mencakup peran dinamika tetesan dalam peneracaan massa.

Model ekstraksi cair-cair yang diusulkan diperoleh melalui modifikasi Konsep Satuan Perpindahan (HTU – NTU) dengan memanfaatkan distribusi tetesan yang lebih seksama dan memberikan hasil perhitungan tinggi total bahan isian yang lebih baik

Kata kunci: Distribusi Tetesan, Perpindahan Massa, Konsep Satua Perpindahan Massa

ABSTRACT

The concept of displacement unit is the basic concept that is often used to evaluate the performance of the liquid-liquid extraction columns. The existence of the complex dynamics of droplets, as described in the first step, then the dynamics of droplets should be taken into account in the use of the concept of unit movement. Droplet dynamics factors involved in modeling the performance evaluation form fields based on the concept of displacement unit is in the form of droplet size distribution. This is in keeping with the droplet dynamics quantification pattern developed in the second step

The existence of the droplet size distribution in each segment has a price range of mass transfer coefficient on the segment. This is because that different droplet sizes will give you the price of different mass transfer coefficient both in the continuous phase and in the phase dispersion. With the discrete approach each price segment of each mass transfer coefficient can be determined according to diameter classes.

Distribution approach for the extraction of liquid droplets - liquid at a way of solving the columns carefully to include the role of the dynamics of droplets in the mass scalability.

Liquid-liquid extraction model is obtained through modification of the proposed concept Switching Unit (HTU - NTU) by utilizing a more thorough distribution of droplets and high total yield calculation stuffing ingredients the better

Keywords: *droplet distribution, mass transfer, mass transfer concept*

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 dan adsorpsi. Keunggulan tersebut antara lain karena ekstraksi dapat berlangsung pada kondisi ruang dan kebutuhan energi yang relatif kecil. Ekstraksi cair-cair telah digunakan secara luas pada industri kimia, misalnya di industri pengilangan minyak bumi. Proses tersebut dimanfaatkan untuk pemisahan senyawa-senyawa aromatik, sulfur, lilin dan resin pada proses pembuatan minyak pelumas.

Proses ekstraksi cair-cair dipilih untuk proses pemisahan suatu komponen dalam industri kimia biasanya dengan pertimbangan sebagai berikut :

- a) komponen dalam campuran merupakan campuran azeotrop, sehingga susah untuk dipisahkan dengan proses distilasi
- b) komponen dalam campuran tidak tahan temperatur tinggi
- c) komponen dalam campuran mempunyai sifat penguapan relatif rendah

Pemisahan campuran fasa cair 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 area

permukaan kontaknya besar serta hambatan perpindahan massanya kecil. Hal ini dapat dicapai bila salah satu cairan terdispersi di dalam cairan lainnya. Cairan akan terdispersi dalam bentuk tetesan, disebut fasa terdispersi, sedangkan cairan yang lainnya disebut fasa kontinyu. Dinamika tetesan tersebut sangat berpengaruh terhadap besarnya area permukaan kontak serta besarnya hambatan perpindahan massa. Dengan demikian maka proses tersebut harus dilangsungkan dalam sebuah peralatan yang dirancang sedemikian rupa sehingga mempunyai permukaan kontak antara umpan dan pelarut yang luas serta kecilnya hambatan perpindahan *solute* dari umpan ke pelarut. Hambatan perpindahan massa sering dinyatakan dengan besaran yang menggambarkan mudah tidaknya massa berpindah dari cairan yang satu ke cairan lainnya. Besaran tersebut dikenal sebagai koefisien perpindahan massa.

Dalam proses ekstraksi cair-cair, umpan adalah larutan yang mengandung zat terlarut (*solute*) yang akan diambil zat terlarutnya. Sedangkan pelarut merupakan larutan yang akan mengambil/mengekstrak *solute* dengan jalan melarutkannya. Larutan umpan sering diperlakukan sebagai fasa kontinyu yang mengalir dari bagian atas kolom ke bawah, sedangkan pelarut diperlakukan sebagai fasa terdispersi karena pelarut tersebut masuk dari bagian bawah kolom dan dikontakkan dengan fasa kontinyu dalam bentuk tetesan yang terdispersi.

Peralatan pengontakan cair-cair yang paling sederhana ialah kolom kosong dimana salah satu cairan disemburkan melalui sebuah nosel ke cairan lainnya sehingga terbentuk tetesan-tetesan yang akan bergerak naik akibat dorongan gaya saat keluar nosel serta gaya apung akibat perbedaan kerapatan cairan. Kelemahan dari kontaktor ini ialah besarnya kemungkinan tetesan-tetesan saling bergabung sehingga ukuran tetesan menjadi lebih besar yang pada akhirnya akan mengurangi efektifitas kontakannya.

Rotating disc contactor (RDC) merupakan pengontak cair-cair yang lebih rumit. Tetesan dalam RDC dibangkitkan melalui putaran, sehingga ukuran tetesan yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan serta lebar pengaduk yang digunakan. Dinamika tetesan dalam RDC ditunjukkan dengan fungsi distribusi tetesan yang menggambarkan sebaran ukuran tetesan dalam RDC. RDC memiliki keunggulan bahwa tetesan yang terbentuk dapat dikendalikan baik bentuk, ukuran maupun laju pergerakannya sehingga dinamika tetesannya dapat diwakili dengan distribusi ukuran tetesan. Namun kelemahan dari RDC ialah adanya keterbatasan kapasitasnya.

Salah satu pilihan peralatan ekstraksi adalah kolom isian (*packed column*), yang merupakan jenis kolom berbentuk silinder tegak dilengkapi dengan lubang untuk mengalirkan larutan umpan dan pelarut. Untuk menahan bahan isian tetap tinggal dalam kolom, maka pada bagian dalam kolom dipasang pelat berlubang, yang memungkinkan untuk dilewati oleh fasa kontinyu dan fasa terdispersi. Dengan demikian di dalam kolom ada dua fasa yang mengalir berlawanan arah. Kontak antar kedua

fasa tersebut terjadi pada permukaan bahan isian yang ada dalam kolom. Fasa kontinyu mengisi celah-celah rongga diantara bahan isian dan akan terus mengalir mengikuti jalur yang terbentuk diantara bahan isian. Fasa kontinyu pada saat mengalir akan membentuk lapisan tipis di permukaan bahan isian. Sedangkan fasa terdispersi yang mengalir dari bagian bawah pola alirannya ditentukan oleh tingkat kebasahan bahan isian oleh fasa kontinyu.

Dalam kolom isian tetesan fasa terdispersi dibangkitkan pada distributor yang biasanya diletakkan dibagian bawah kolom. Setelah tetesan lepas dari distributor, pada pergerakan naik akan bertemu dengan bahan isian yang ada dalam kolom. Isian dengan bentuk yang teratur akan membentuk jalur lintasan yang teratur. Lintasan yang teratur membuat tetesan saat melewati celah isian tidak mengalami hambatan yang berupa terperangkap dan/atau diam ditempat. Sedangkan bentuk isian yang tidak teratur akan menghasilkan jalur lintasan yang acak. Jalur lintasan yang acak menyebabkan tetesan bisa mengalami hambatan. Dengan demikian dalam kolom isian dinamika tetesannya lebih acak baik bentuk, ukuran maupun laju pergerakannya. Namun demikian kolom isian masih memiliki beberapa keunggulan antara lain mampu menangani kapasitas yang besar, energi yang diperlukan relatif lebih sedikit bila dibandingkan dengan RDC. Kolom isian juga memiliki beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan kolom kosong.

Keunggulan tersebut adalah dapat mempertahankan tetesan dalam ukuran yang kecil serta turbulensi yang tinggi akibat tetesan harus bergerak disela-sela isian. Kedua hal tersebut menjadikan tetesan memiliki area kontak yang luas dan tingginya

koefisien perpindahan massa. Keunggulan-keunggulan tersebut menyebabkan kolom isian masih memiliki daya saing yang kuat sebagai kontaktor cair-cair terutama untuk menangani kapasitas yang besar. Namun demikian dalam kolom isian peristiwa penggabungan dan pemecahan tetesan tetap terjadi dalam intensitas yang tinggi, sehingga besarnya area permukaan kontak dan koefisien perpindahan massa di dalam kolom sangat bervariasi. Dinamika tetesan atau perilaku gerakan tetesan saat melewati sela-sela isian selain mempengaruhi bentuk dan ukuran tetesan juga akan mempengaruhi besarnya *hold-up* fasa terdispersi.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah menguraikan dinamika tetesan dalam kolom isian yang kemudian uraian tersebut dikuantifikasi ke sebuah bentuk model yang sesuai untuk diterapkan ke dalam konsep satuan perpindahan yang dapat mengevaluasi kinerja kolom isian untuk proses ekstraksi cair-cair. Pendekatan model adalah distribusi ukuran tetesan.

2. Metode Penelitian

Untuk ketelitian dalam pengamatan dinamika tetesan dalam kolom isian, kolom dibagi menjadi enam segmen pengamatan dengan jarak masing-masing adalah 10 cm dimulai dari dasar kolom. Segmen-segmen ketinggian tersebut diberi identitas S_1 untuk yang paling bawah selanjutnya S_2 untuk 10 cm di atas S_1 , demikian seterusnya sampai dengan S_6 yang terdapat pada bagian paling atas. Pengamatan dilakukan secara visual dan direkam dengan kamera digital. Pada tiap segmen ketinggian tersebut dilakukan pengamatan dinamika

tetesan dengan cara merekam pergerakan tetesan dengan menggunakan kamera digital. Setiap segmen dilakukan pengambilan gambar pergerakan tetesan sebanyak 20 kali dengan selang waktu lebih kurang setengah detik. Hasil gambar yang didapat selanjutnya dihitung diameter tetesan, dengan asumsi tetesan berupa bola sehingga proyeksinya berupa lingkaran. Dengan mengetahui luas lingkaran maka diameter equivalennya bisa diketahui. Tetesan hasil pengamatan dikelompokkan menjadi 6 kelas diameter. Kelas diameter satu diberi identitas d_1 mempunyai anggota tetesan yang berdiameter lebih kecil dari 0,5 mm. Berikutnya kelas diameter dua d_2 dengan rentang diameter diantara 0,5 hingga 1,49 mm. Kelas diameter tiga d_3 rentang diameter diantara 1,5 hingga 2,49 mm, kelas diameter empat d_4 rentang diameter diantara 2,5 hingga 3,49 mm. Selanjutnya kelas diameter lima d_5 diantara 3,5 hingga 4,5 mm dan kelas diameter enam d_6 tetesan yang berdiameter lebih besar dari 4,5 mm.

Percobaan dinamika tetesan ini dilakukan dengan memvariasikan laju alir fasa kontinyu, Q_c mulai dari keadaan diam hingga bergerak pada 3 (tiga) laju alir yang berbeda dan pada masing-masing laju fasa kontinyu diamati untuk 3 (tiga) variasi laju alir fasa terdispersi, Q_d . Semua pengamatan tersebut dilakukan untuk 2 (dua) jenis bahan isian yaitu bola kaca dan raschig ring. Pada langkah pertama ini dihasilkan kurva hubungan antara fraksi diameter tetesan dengan kelas diameter yang dapat menunjukkan perilaku tetesan dalam kolom isian.

3. Hasil dan Pembahasan

Secara keseluruhan dinamika tetesan dalam kolom isian membentuk suatu pola perubahan ukuran tetesan yang sama pada isian bola kaca maupun isian raschig ring. Kalaupun ada perbedaan, perbedaan itu terdapat pada segmen satu maupun segmen enam. Pada segmen satu perbedaan terjadi pada saat pembentukan dan lepasnya tetesan diujung nosel. Pada saat fasa kontinyu diam, pengaruh terbesar muncul dari laju alir fasa terdispersi. Laju alir fasa terdispersi rendah, saat tetesan terbentuk dan lepas diujung nosel tetesan cenderung untuk bergabung dengan tetesan lain dan membentuk tetesan baru yang kelas diameternya besar. Pergerakan tetesan naik melalui celah isian menyebabkan perubahan ukuran tetesan. Perubahan terjadi karena tetesan berkelas diameter besar menabrak isian, atau tetesan terjepit diantara celah isian dan terputus membentuk tetesan baru dengan kelas diameter yang kecil meningkatnya laju alir fasa terdispersi mempercepat terjadinya perubahan ukuran tetesan. Dalam kolom berbahan isian raschig ring perubahan ukuran tetesan saat fasa kontinyu diam lebih lambat bila dibandingkan isian bola kaca. Karena pada isian raschig ring peristiwa pecah tetesan dan penggabungan tetesan berlangsung bersamaan. Pada akhirnya isian bola kaca maupun raschig ring memberikan pengaruh pada penyebaran ukuran tetesan dalam kolom. Semakin keatas ukuran tetesan menjadi tetesan berkelas diameter kecil. Fasa kontinyu bergerak, pada isian bola kaca maupun raschig ring sama-sama memberikan pengaruh pada pembentukan tetesan di segmen satu pada laju alir fasa terdispersi rendah. Semakin cepat laju alir fasa kontinyu tetesan terbentuk di segmen satu berkelas diameter besar. Kenaikan laju alir fasa terdispersi

pada isian bola kaca maupun raschig ring mempercepat perubahan ukuran tetesan. Pola perubahan ukuran tetesan dari segmen ke segmen mirip satu dengan yang lain, Gambar 1 dan 2. Terjadi pergeseran yang seirama, semakin keatas pergeseran terjadi ke arah kiri atau ke arah kelas diameter kecil.

Melalui dinamika tetesan dalam kolom isian berdasarkan hasil pengamatan, berikutnya dilakukan pengembangan model yang sesuai dari dinamika tetesan tersebut untuk bisa dimanfaatkan pada langkah selanjutnya. Pendekatan yang digunakan adalah bahwa bentuk dinamika tetesan digambarkan berupa kurva distribusi tetesan. Kurva distribusi tetesan bersama dengan kecenderungan perubahan ukuran diameter tetesan dari segmen ke segmen digambarkan mulai Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan perubahan ukuran tetesan dari segmen ke segmen pada laju alir fasa kontinyu diam, $Q_c=0$, untuk isian bola kaca dan raschig ring. Secara umum pola perubahan ukuran tetesan dari segmen ke segmen untuk isian bola kaca maupun raschig ring sama, hanya pada S1 ada ketidaksamaan. Pada S1 untuk raschig ring tetesan berkelas diameter d_4 dan d_5 terbentuk dalam jumlah yang banyak dan berikutnya menurun dan akhirnya menghilang pada segmen S5 untuk d_5 dan segmen S6 untuk d_4 .

Untuk laju alir fasa kontinyu bergerak kecenderungan perubahan ukuran tetesan ditunjukkan melalui Gambar 4. Pola perubahan ukuran tetesan tidak banyak berbeda untuk laju alir fasa kontinyu bergerak. Perubahan ukuran tetesan dipengaruhi oleh laju alir fasa terdispersi. Peningkatan laju alir fasa terdispersi khususnya untuk isin raschig ring akan mempercepat perubahan ukuran

tetes dari kelas diameter besar ke tetesan berkelas diameter kecil.

Dalam konsep Satuan Perpindahan bentuk dari HTU dapat dituliskan berdasarkan koefisien perpindahan massa keseluruhan di fasa terdispersi K_{OD}

$$HTU_{OD} = \frac{Z}{\int_{C_{d2}}^{C_{d1}} \frac{dC_d}{(C_d - C_d^*)}} = \frac{U_d}{K_{OD} a} \quad (1)$$

Untuk mencari harga HTU_{OD} diperlukan nilai U_d , K_{OD} dan a . U_d atau laju alir fasa terdispersi didapat dari laju alir volumetrik Q_d dibagi dengan luas penampang kolom a . Koefisien perpindahan massa difasa terdispersi k_d maupun di fasa kontinu k_c dihitung berdasarkan korelasi dari para peneliti terdahulu bergantung pada nilai bilangan Reynoldnya. Luas perpindahan massa a dihitung berdasarkan diameter tetesan terbentuk. NTU yang berupa

$\int_{C_{d2}}^{C_{d1}} \frac{dC_d}{(C_d - C_d^*)}$, dihitung berdasarkan plot antara $\frac{1}{C_d - C_d^*}$ terhadap C_d pada rentang C_{d1} sampai C_{d2} .

Dalam memperhitungkan distribusi ukuran tetesan, maka pada konsep satuan perpindahan besarnya harga koefisien perpindahan massa keseluruhan K_{OD} pada persamaan 1 juga akan terdistribusi sesuai dengan distribusi ukuran tetesannya. Korelasi yang menunjukkan keadaan tersebut ada pada persamaan 2.

$$K_{OD} \cdot a = \sum_{i=1}^{i=n} a_i \cdot x_{di} \cdot K_{ODi} \quad (2)$$

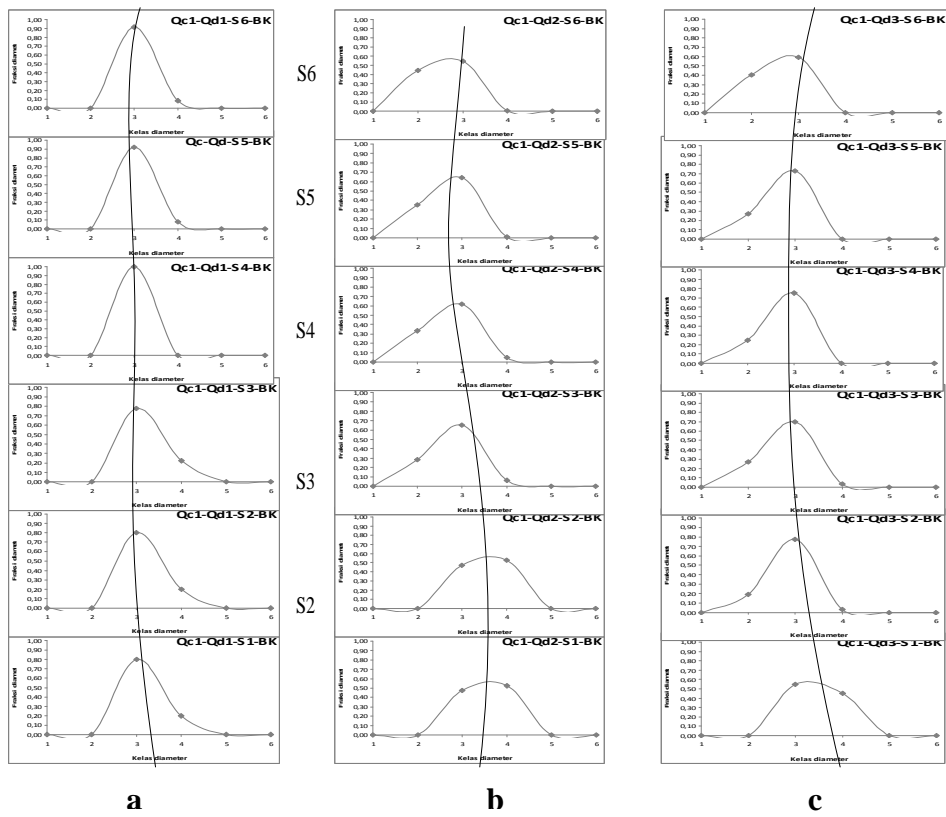
dimana :

a_i = luas perpindahan berdasarkan diameter tetesan

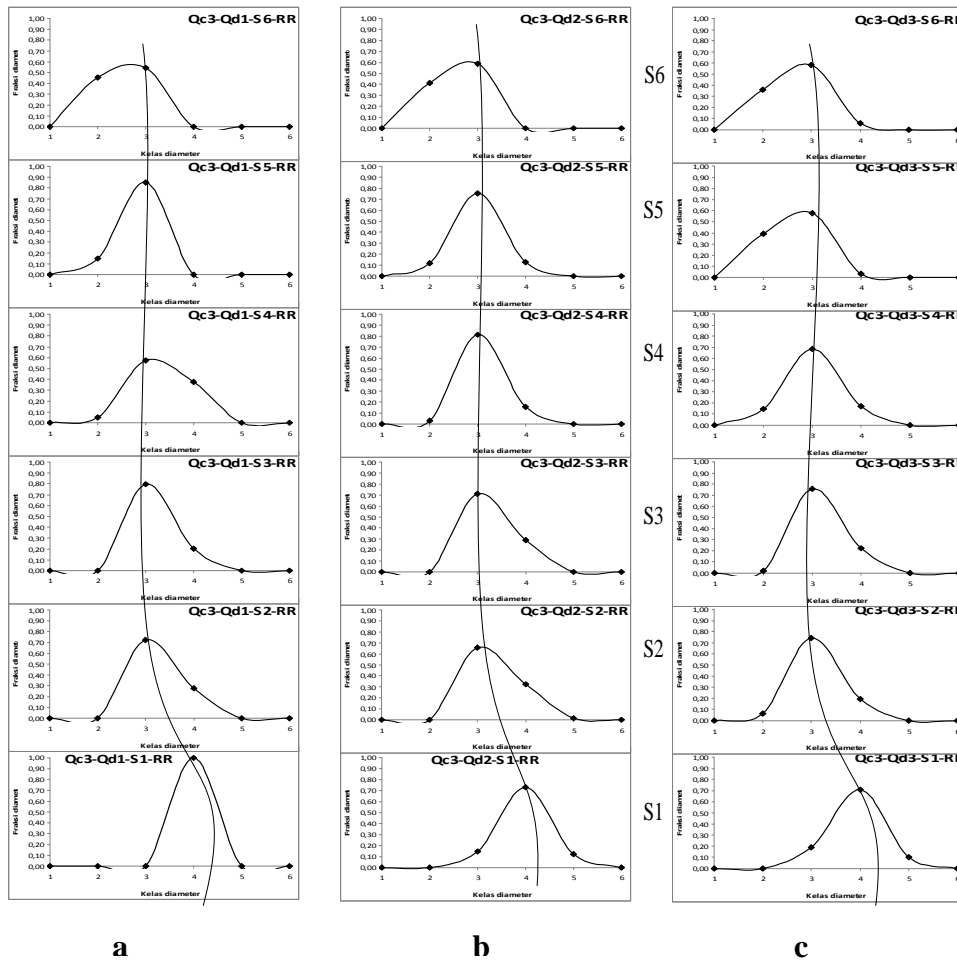
x_{di} = adalah fraksi diameter tetesan

K_{ODi} = K_{OD} dari tiap kelas diameter

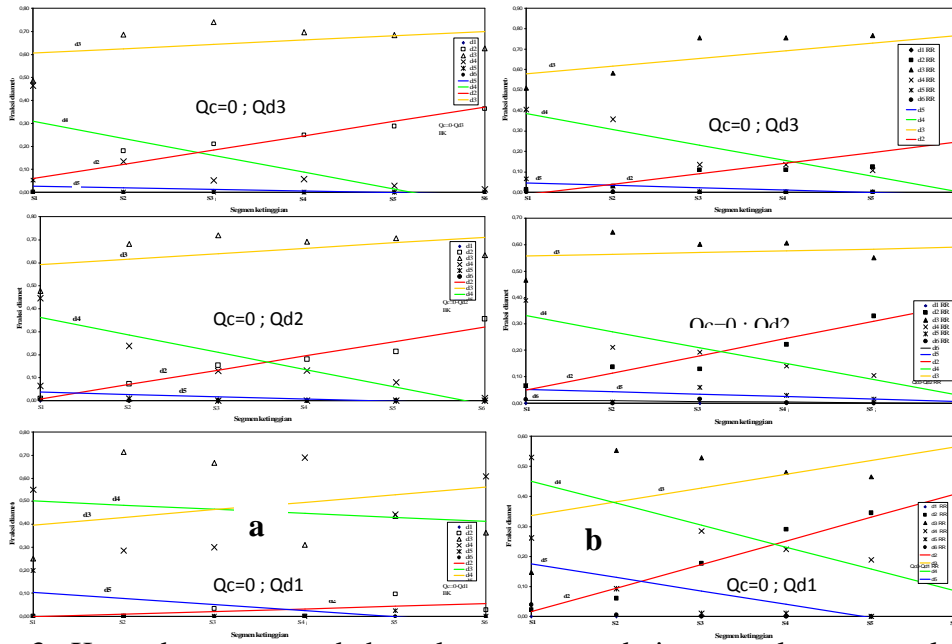
Pada perhitungan tinggi segmen, diperlukan harga koefisien perpindahan massa di fasa kontinu k_c dan difasa terdispersi k_d . Kedua harga tersebut ditentukan oleh besarnya bilangan Reynold-nya. Berdasarkan penentuan awal, pada fasa kontinu digunakan korelasi Garner-Foord-Tayeban (GFT) bila $10 < Re < 200$ dan Garne-Tayeban (GT) bila $Re > 200$. Sedangkan di fasa terdispersi digunakan korelasi Handlos & Baron (HB) bila $10 < Re < 200$ dan Rose-Kintner (RK) bila $Re > 200$. Korelasi-korelasi tersebut telah berulang kali dilakukan pengujian untuk memperhitungkan perpindahan massa dan memberikan hasil yang baik. Korelasi tersebut diberlakukan baik untuk isian bola kaca maupun raschig ring. Hasil perhitungan tinggi segmen untuk isian bola kaca dan raschig ring ditampilkan pada Tabel 1 dan 2.



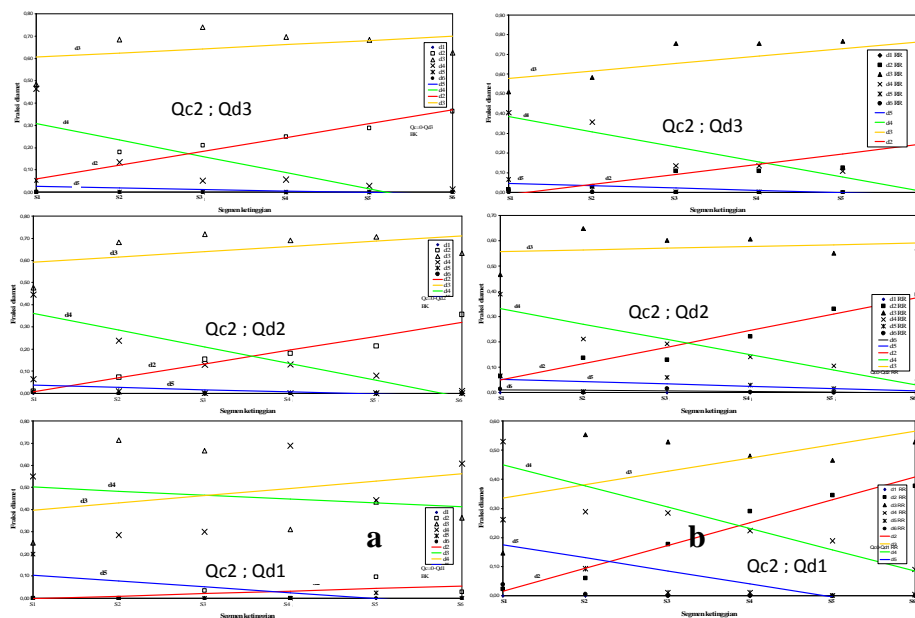
Gambar 1. Kurva hubungan antara kelas diameter tetesan dengan fraksi diameter dalam kolom isian bola kaca, pada laju alir fasa kontinu $Q_c = 2,67 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, laju alir fasa terdispersi Q_d , a. $Q_d = 0,14 \cdot 10^{-5}$; b. $Q_d = 2,00 \cdot 10^{-5}$ dan c. $Q_d = 4,27 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$



Gambar 2. Kurva hubungan antara kelas diameter tetesan dengan fraksi diameter dalam kolom isian raschig ring, pada laju alir fasa kontinyu $Q_c=22,67 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, laju alir fasa terdispersi Qd, a. $Q_d=0,14 \cdot 10^{-5}$; b. $Q_d=2,00 \cdot 10^{-5}$ dan c. $Q_d=4,27 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$



Gambar 3. Kecenderungan perubahan ukuran tetesan dari segmen ke segmen, laju alir fasa kontinyu diam, $Q_c=0$ dan laju alir fasa terdispersi Q_d bervariasi, a. isian bola kaca b. raschig ring



Gambar 4. Kecenderungan perubahan ukuran tetesan dari segmen ke segmen, laju alir fasa kontinyu bergerak dan laju alir fasa terdispersi Q_d bervariasi, a. isian bola kaca b. raschig ring

Tabel 1. Hasil perhitungan Z isian bola kaca, untuk $U_d = 0,0519 \text{ cm/s}$

Segmen Ketinggian	Kelas Diameter	Diameter cm	Fraksi diameter	kd mol/cm ² .s	kc mol/cm ² .s	K ₀₀ (mol/cm ² .s)	K ₀₀ distribusi tetesan	NTU	HTU	Z total cm
S1	d ₁	0,04	0,00	0,009	0,231	0,209	0,0104	0,371	35,051	13,007
	d ₂	0,10	0,00	0,014	0,379	0,341				
	d ₃	0,20	0,80	0,005	0,006	0,011				
	d ₄	0,30	0,20	0,005	0,004	0,009				
	d ₅	0,35	0,00	0,005	0,004	0,009				
	d ₆	0,49	0,00	0,007	0,068	0,066				
S2	d ₁	0,04	0,00	0,009	0,232	0,209	0,0109	0,349	33,453	11,670
	d ₂	0,10	0,00	0,014	0,379	0,373				
	d ₃	0,20	0,80	0,005	0,006	0,011				
	d ₄	0,30	0,20	0,005	0,004	0,009				
	d ₅	0,35	0,00	0,005	0,004	0,009				
	d ₆	0,49	0,00	0,006	0,068	0,066				
S3	d ₁	0,04	0,00	0,009	0,231	0,209	0,0108	0,180	33,070	5,952
	d ₂	0,10	0,00	0,014	0,379	0,373				
	d ₃	0,20	0,78	0,005	0,006	0,011				
	d ₄	0,30	0,22	0,005	0,004	0,009				
	d ₅	0,35	0,00	0,005	0,004	0,009				
	d ₆	0,49	0,00	0,006	0,068	0,066				
S4	d ₁	0,04	0,00	0,009	0,232	0,209	0,0112	0,202	36,975	7,458
	d ₂	0,10	0,00	0,014	0,377	0,371				
	d ₃	0,20	1,00	0,005	0,006	0,011				
	d ₄	0,30	0,00	0,005	0,004	0,009				
	d ₅	0,35	0,00	0,005	0,004	0,009				
	d ₆	0,49	0,00	0,006	0,068	0,066				
S5	d ₁	0,04	0,00	0,009	0,231	0,209	0,0111	0,179	35,603	6,363
	d ₂	0,10	0,00	0,014	0,379	0,374				
	d ₃	0,20	0,92	0,005	0,006	0,011				
	d ₄	0,30	0,08	0,005	0,004	0,009				
	d ₅	0,35	0,00	0,005	0,004	0,009				
	d ₆	0,49	0,00	0,006	0,068	0,066				
S6	d ₁	0,04	0,00	0,009	0,231	0,209	0,0111	0,591	35,485	20,978
	d ₂	0,10	0,00	0,014	0,380	0,374				
	d ₃	0,20	0,92	0,005	0,006	0,011				
	d ₄	0,30	0,08	0,005	0,004	0,009				
	d ₅	0,35	0,00	0,005	0,004	0,009				
	d ₆	0,49	0,00	0,009	0,231	0,209				

Tabel 2. Hasil perhitungan Z isian raschig ring, untuk $U_d = 0,7077 \text{ cm/s}$

Segmen Ketinggian	Kelas Diameter	Diameter cm	Fraksi diameter	kd mol/cm ² .s	kc mol/cm ² .s	K ₀₀ (mol/cm ² .s)	K ₀₀ distribusi tetesan	NTU	HTU	Z total cm
S1	d ₁	0,04	0,00	0,014	0,379	0,341	0,0983	0,128	139,201	17,862
	d ₂	0,10	0,00	0,009	0,337	0,562				
	d ₃	0,20	0,15	0,009	0,242	0,406				
	d ₄	0,30	0,73	0,005	0,005	0,013				
	d ₅	0,35	0,12	0,005	0,141	0,236				
	d ₆	0,49	0,00	0,005	0,141	0,236				
S2	d ₁	0,04	0,00	0,014	0,379	0,341	0,2749	0,091	69,931	6,346
	d ₂	0,10	0,00	0,009	0,337	0,560				
	d ₃	0,20	0,66	0,009	0,242	0,405				
	d ₄	0,30	0,32	0,005	0,005	0,013				
	d ₅	0,35	0,02	0,005	0,140	0,235				
	d ₆	0,49	0,00	0,005	0,140	0,235				
S3	d ₁	0,04	0,00	0,014	0,379	0,341	0,2937	0,193	63,449	12,215
	d ₂	0,10	0,00	0,009	0,338	0,563				
	d ₃	0,20	0,71	0,009	0,243	0,406				
	d ₄	0,30	0,29	0,005	0,005	0,013				
	d ₅	0,35	0,00	0,005	0,141	0,236				
	d ₆	0,49	0,00	0,005	0,141	0,236				
S4	d ₁	0,04	0,00	0,014	0,379	0,341	0,3493	0,195	41,520	8,089
	d ₂	0,10	0,03	0,009	0,337	0,562				
	d ₃	0,20	0,82	0,009	0,242	0,406				
	d ₄	0,30	0,16	0,005	0,005	0,013				
	d ₅	0,35	0,00	0,005	0,141	0,236				
	d ₆	0,49	0,00	0,005	0,141	0,236				
S5	d ₁	0,04	0,00	0,014	0,379	0,341	0,3731	0,281	39,142	10,994
	d ₂	0,10	0,12	0,009	0,337	0,561				
	d ₃	0,20	0,76	0,009	0,242	0,405				
	d ₄	0,30	0,13	0,005	0,005	0,013				
	d ₅	0,35	0,00	0,005	0,141	0,236				
	d ₆	0,49	0,00	0,005	0,141	0,236				
S6	d ₁	0,04	0,00	0,014	0,379	0,341	0,4700	0,540	24,934	13,465
	d ₂	0,10	0,41	0,009	0,337	0,562				
	d ₃	0,20	0,59	0,009	0,242	0,406				
	d ₄	0,30	0,00	0,005	0,005	0,013				
	d ₅	0,35	0,00	0,005	0,141	0,236				
	d ₆	0,49	0,00	0,005	0,141	0,236				
S6	d ₁	0,04	0,00	0,014	0,379	0,341	0,4700	0,540	24,934	13,465
	d ₂	0,10	0,41	0,009	0,337	0,562				
	d ₃	0,20	0,59	0,009	0,242	0,406				
	d ₄	0,30	0,00	0,005	0,005	0,013				
	d ₅	0,35	0,00	0,005	0,141	0,236				
	d ₆	0,49	0,00	0,005	0,141	0,236				

Tabel 3. Perbandingan kesalahan perhitungan Z

Isian	Tinggi segmen total cm	Konsep Tetesan Tetap		Konsep Distribusi Tetesan	
		Perhitungan, cm	Kesalahan	Perhitungan, cm	Kesalahan
Bola kaca	60	84,39	16,89%	65,43	4,33%
Raschig ring	60	82,21	15,62%	68,97	6,96%

Dari Tabel 1. dan 2. dapat dihitung tinggi segmen pengamatan keseluruhan dan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan konsep satuan perpindahan dengan diameter tetesan konstan. Secara lengkap ditampilkan pada Tabel 3.

Memperhatikan Tabel 3, hasil perhitungan tinggi segmen pengamatan total untuk isian bola kaca maupun raschig ring dengan konsep distribusi tetesan ternyata memberikan hasil perhitungan yang lebih baik bila dibandingkan perhitungan dengan konsep tetesan tetap.

Pendekatan distribusi tetesan untuk proses ekstraksi cair – cair pada kolom isian merupakan cara pemecahan seksama untuk mencakup peran dinamika tetesan dalam peneracaan massa.

Dinamika tetesan dalam kolom isian merupakan akibat adanya distributor yang terpasang di bagian bawah kolom dan bahan isian yang digunakan dalam kolom. Ukuran diameter distributor dan laju alir fasa terdispersi sangat berpengaruh pada proses pembentukan tetesan. Setelah tetesan lepas dari distributor dan berada dalam kolom isian, ukuran dan jenis bahan isian sangat berpengaruh terhadap perubahan ukuran tetesan.

Perubahan ukuran tetesan dinyatakan dengan distribusi tetesan. Isian yang homogen membentuk jalur lintasan yang teratur. Lintasan yang teratur menyebabkan tetesan lebih mudah melewati celah bahan isian. Pada saat melewati celah bahan isian tetesan mengalami perubahan.

Isian yang tidak teratur membentuk jalur lintasan yang tidak teratur pula. Ketidakteraturan menyebabkan tetesan mengalami kesulitan dalam melewati celah isian. Kesulitan tersebut menyebabkan tetesan terperangkap dan diam ditempat karena lintasannya buntu. Hal ini merupakan satu kerugian karena perpindahan massa yang diharapkan tidak terjadi. Secara umum isian yang berada dalam kolom akan memberikan peran terhadap terjadinya proses perpindahan massa. Peran yang nyata adalah dalam terjadinya distribusi tetesan dengan memecah tetesan berdiameter besar menjadi tetesan berdiameter kecil sehingga luas perpindahan massa yang tersedia menjadi lebih banyak lagi.

Model ekstraksi cair-cair yang diusulkan diperoleh melalui modifikasi Konsep Satuan Perpindahan (HTU – NTU) dengan memanfaatkan distribusi tetesan yang lebih seksama dan memberikan hasil perhitungan tinggi total bahan isian yang lebih baik.

4. Kesimpulan dan Penelitian Mendatang

4.1. Kesimpulan

Pendekatan distribusi tetesan untuk proses ekstraksi cair – cair pada kolom isian merupakan cara pemecahan seksama untuk mencakup peran dinamika tetesan dalam peneracaan massa.

Dinamika tetesan dalam kolom isian merupakan akibat adanya distributor yang terpasang di bagian bawah kolom dan bahan isian yang digunakan dalam kolom. Ukuran diameter distributor dan laju alir fasa terdispersi sangat berpengaruh pada proses pembentukan tetesan. Setelah tetesan lepas dari distributor dan berada dalam kolom isian, ukuran dan jenis bahan isian sangat berpengaruh terhadap perubahan ukuran tetesan. Perubahan ukuran tetesan dinyatakan dengan distribusi tetesan. Isian yang homogen membentuk jalur lintasan yang teratur. Lintasan yang teratur menyebabkan tetesan lebih mudah melewati celah bahan isian. Pada saat melewati celah bahan isian tetesan mengalami perubahan.

Isian yang tidak teratur membentuk jalur lintasan yang tidak teratur pula. Ketidakteraturan menyebabkan tetesan mengalami kesulitan dalam melewati celah isian. Kesulitan tersebut menyebabkan tetesan terperangkap dan diam ditempat karena lintasannya buntu. Hal ini merupakan satu kerugian karena perpindahan massa yang diharapkan tidak terjadi. Secara umum isian yang berada dalam kolom akan memberikan peran terhadap terjadinya proses perpindahan massa. Peran yang nyata adalah dalam terjadinya distribusi tetesan dengan memecah tetesan berdiameter besar menjadi tetesan berdiameter kecil

sehingga luas perpindahan massa yang tersedia menjadi lebih banyak lagi.

Model ekstraksi cair-cair yang diusulkan diperoleh melalui modifikasi Konsep Satuan Perpindahan (HTU – NTU) dengan memanfaatkan distribusi tetesan yang lebih seksama dan memberikan hasil perhitungan tinggi total bahan isian yang lebih baik.

4.2 Penelitian Mendatang

Perlu dikembangkan lebih lanjut korelasi yang dapat menggambarkan perubahan distribusi ukuran tetes di sepanjang kolom sebagai fungsi dari variable operasi (laju alir fasa dispersi dan fasa kontinyu), variabel geometri (jenis dan ukuran isian serta dimensi kolom) serta variabel sifat fisik (sistem non MEK-air-n.heksan).

DAFTAR PUSTAKA

- Al Khani, S.D., Gourdon, C dan Casamatta, G. (1989): Dynamic and Steady State Simulation of Hydrodynamics and Mass Transfer in Liquid-Liquid Extraction Column, *Chemical Engineering Science*, **44**, 6, 1295-1305.
- Balmelli, M dan Steiner, L (1999): Monte Carlo Simulation Drop Dispersion Behaviour, *Chemical Engineering dan Processing*, **39**, 201-206.
- Bart, H.J (2006): From Single Droplet to Column Design, *Tsinghua Science and Technology*, **11**, 2, 212-216.
- Blass, E., (1990): Formation and Coalescence of Bubbles and Droplets, *Internatioanal Chemical Engineering*, **30**, 2, 206-221
- Breckenfeld, R.H dan Wilke, C.R (1950): Limiting Flows in Packed Extraction Columns, *Chemical Engineering Progress*, **46**, 4, 187-194.
- Cadle, R.D. , (1995): Particle Size Determination, *Interscience Publishers Inc*, 27-50.
- Calo, J.M dan Henley, E.J. (1982): Stagewise dan Mass Transfer Operations, *American Institute of Chemical Engineers*, **3**, 1-61.
- Casamatta, G dan Vogelpohl, A. (1985): Modelling of Fluid Dynamics and Mass Transfer in Extraction Columns, *Ger. Chem.Eng*, **8**, 96-103.
- Chazal, L. dan Ryan, J (1971): Formation of Organic Drops In Water, *American Institute of Chemical Engineers Journal*, **17**, 1226-1229.
- Cohen, L., Brenner, M.P., Eggers, J dan Nagel, S.R.(1999): Two Fluid Drop Snap-Off Problem: Experiments dan Theory, *Physical Review Letters*, **83**, 1147-1150.
- Coulaloglou, C.A dan Travlarides, L.L.(1997): Description on Interacting in Agitated Liquid-Liquid Dispersions, *Chemical Engineering Science*, **32** 1289-1297.
- Cristini, V dan Chieh, T.Y. (2004): Theory dan Numerical Simulation of Droplet Dynamic in Complex Flow, *The Royal Society of Chemistry*, **4**, 257-264
- Dell, F.R dan Pratt, H. R. (1951) : Liquid-Liquid Extraction, *Trans. Instn. Chemical Engineering.*, 29, 89 - 109
- Dell, F.R dan Pratt, H.R.C (1951): Liquid-Liquid Extraction Part I Flooding Rates for Packed Columns, *Trans. Instn. Chemical. Engineering*, **29**, 89-109.
- Eggers, J.(1997): Nonlinier Dynamic dan Breakup of Free-Surfactan Flows, *Review of Modern Physics*, **69**, 865-929.
- Giraldo, A.D., Zuniga., Coimbra, J.S.R., Minim, L.A dan Rojas, E.E.G., (2005), Axial Mixing in a Graesser Liquid-Liquid Contactor Using Aqueous Two-phase Systems, *Chemical Engineering dan Processeing Journal*. **44**, 441-446.

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.

Harold R, Null dan Johnson, F.H.(1958): Drop Formation in Liquid-Liquid Systems from Single Nozzles, *American Institute of Chemical Engineers Journal*, **4**, 3, 273-281.

Hartland, S dan Mecklenburgh, J.C. (1996): A Comparison of Differential and Stagewise Counter Current Extraction with Backmixing, *Chemical Engineering Science*, **21**, 1209-1221.

Hashem, M .A dan El-Bussuoni (2007): Drop Formation Mass Transfer Coefficients in Extraction Column, *Chemical Engineering Science*, **41**, 5, 506-511.

Heertjes, P., Nie, L dan Vries, H. (1971): Drop Formation in Liquid-Liquid System- Prediction of Drop Volumes Moderate Speed of Formation, *Chemical Engineering Science*, **26**, 441-449

Homma Shunji, Koga Jiro, Matsumoto Shiro, Song Museok dan Tryggvason Gretar (2006): Breakup Mode of an Axisymmetric Liquid Jet Injected Into Another Immiscible Liquid, *Chemical Engineering Science*, **61**, 3986-3996.

Hulburt, H.M. dan Katz, S. (1964), Some Problem in Particle Technology. A Statistical Mechanical Formulation,

Chemical Engineering Science., **19**, 555-574.

Irzad, J.A.(1972): Prediction of Droplet Volumes in Liquid-Liquid Systems, *American Institute of Chemical Engineers Journal*, **18**, 3, 634 - 638.

James, H .Hilbing dan Stephen, D, Heiste. (1996): Droplet Size Control in Liquid Jet Breakup, *Phys. Fluid*, **8**, 6, 1574-1581

James,O' Connel.(2000): Shapes of Bubbles and Drops in Motion, *The Physics Teacher*, **38**, 232-233.

John, R.R, Beris, A.N dan Lenhoff, A, M (1995): Drop formation in Liquid-Liquid Systems Before and After Jetting, *Phys. Fluid*, **7**, 11, 2617-2630.

Kitamura, Y., Mishima, H dan Takahashi, T.(1982): Stability of Jets in Liquid-Liquid System, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, **60**, 723-731.

Kronbergerk, T., Ortner, A., Zulehner, W dan Bart, H.J (1995): Numerical Simulation of Extraction Columns Using A Drop Population Model, *Computer Chemical Engineering*, **19**, 5639-5644.

Kumar, A., (1983), *Droplet Behaviour in Liquid/Liquid Extraction*, PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.

Laddha, G., S dan Smith, J., M (1950) : Mass Transfer Resistance in Liquid - Liquid Extraction, *Chemical Engineering Progress*, **46**, 4, 195 - 202.

Laddha, G.S dan Degaleesan, T.E. (1974): *Transport Phenomena in Liquid Extraction*, Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd., New Delhi.

Laso, M., Steiner, L dan Hartland, S. (1987): Dynamic Simulation of Liquid-Liquid Agitated Dispersions - I. Derivation of A Simplified Model, *Chemical Engineering Science*, **42**, 10, 2429-2436.

Laso, M., Steiner, L., dan Hartldan, S. (1987): Dynamic Simulation of Agitated Liquid-Liquid Dispersions-II. Experimental Determination of Breakage and Coalescence Rate in A Stirred Tank, *Chemical Engineering Science*, **42**, 10, 2437-2445.

Leibson, I dan Beckman, R. B., (1953) : The Effect of Packing Size and Column Diameter on Mass Transfer in Liquid - Liquid Extraction, *Chemical Engineering Progress*, **49**, 8, 405 - 416.

Lister, J.R dan Stones, H.A. (1998): Capillary breakup of a Viscous Thread Sorroundind by Another Viscous Fluid, *Physics of Fluid*, **10**, 2758-2764.

Longmire, E.K., Norman, T.L dan Gefroh, D.I.(2001): Dynamics of Pinch-off in Liquid-Liquid Jets with Surface Tension, *International Journal of Multiphase Flow*, **27**, 1735-1752.

Mahonty, S., (2000): Modelling of Liquid-Liquid Extraction Column : A Review, *CSIR*, **16**, 3, 199-248.