

# **PENGARUH BENTUK BAHAN ISIAN DALAM KOLOM EKSTRAKSI CAIR-CAIR TERHADAP PERUBAHAN DIAMETER TETESAN FASA TERDISPERSI**

Priyono Kusumo

Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik UNTAG Semarang  
Jln. Pawiyatan Luhur Gedung G Semarang  
email: priyono@untag.smg.ac.id

## **ABSTRAKSI**

Proses ekstraksi cair-cair mengenal istilah fasa kontinyu yang dialirkan dari bagian atas kolom berisi umpan yang akan diekstraksi menggunakan solven yang dialirkan dalam bentuk dispersi atau tetesan dari bawah kolom melalui distributor dan disebut fasa terdispersi. Ukuran dispersi tetes pada media cair dalam kolom isian sangat beragam. Distribusi ukuran tetes tersebut berbeda pada posisi ketinggian kolom isian. Hal ini diakibatkan adanya peristiwa penggabungan dan pemecahan tetesan selama tetesan tersebut bergerak keatas dalam kolom isian. Peristiwa penggabungan dan pemecahan tetesan dapat disebabkan berbagai faktor termasuk diantaranya karena adanya isian yang menghalangi gerakan tetesan. Ketidak seragaman ukuran tetes dalam kolom tersebut mempengaruhi laju proses perpindahan massa dari fasa kontinyu ke fasa terdispersi atau sebaliknya, karena adanya variasi luas permukaan kontak serta perubahan tetesnya. Pengamatan perubahan tetesan mulai saat pembentukan tetes hingga pergerakannya saat melewati sela-sela isian merupakan faktor penting untuk menggambarkan distribusi tetesan dalam kolom isian. Perubahan ukuran tetesan tersebut dipengaruhi oleh berbagai variabel operasi dan variabel fisik. Percobaan dilakukan dengan menggunakan kolom segi empat yang terbuat dari bahan transparan sehingga bagian dalam kolom dapat dilihat, dan digunakan bahan isian berbentuk bola dari kaca dan raschig ring. Pengamatan dilakukan dengan membagi ketinggian kolom menjadi 6 segmen yang sama yaitu berjarak 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 cm dari dasar kolom dan diberi nama  $Z_0$  hingga  $Z_5$ . Pengamatan perubahan tetesan dilakukan secara visual dan direkam dengan kamera digital pada segmen ketinggian tersebut. Dari gambar yang diperoleh dapat dihitung diameter dan jumlah tetesan yang terbentuk, kemudian dapat ditentukan distribusi ukurannya dan juga bisa diamati pergerakan tetes fasa terdispersi saat melewati celah-celah bahan isian bola kaca maupun raschig ring. Hasil percobaan menunjukkan bahwa distribusi ukuran tetes cenderung mengarah ke diameter yang lebih kecil seiring dengan bertambahnya jarak dari dasar kolom. Pergerakan tetes fasa terdispersi dalam kolom dipengaruhi oleh laju alir dan bahan isian yang digunakan.

*Kata kunci: bahan isian, distribusi tetes, pergerakan tetes fasa terdispersi*

## **ABSTRACT**

Liquid-liquid extraction process known continuous phase terms that are drawn from the top of the column containing the feed that will be extracted using solvents that are drawn in the form of dispersions or droplets from the bottom of the column through a distributor and is called the dispersed phase. Size dispersion of drops in liquid media in a very diverse field. Drop size distribution is different from the position of the height field. This is due to the merger event and the breakdown of the droplet during the droplet moves upward in the field. Droplets merge and split events can be caused by various factors including the presence of fields such as blocking the movement of the droplets. The lack of uniformity in the column

drop size affects the rate of mass transfer from continuous phase to dispersed phase or vice versa, because of variations in contact surface area as well as changes in drops. Observation of changes during the formation of droplets from drops up to its movement as it passes through the sidelines of the field is an important factor to describe the distribution of droplets in the field. Changes in droplet size is influenced by various operating variables and physical variables. The experiments were performed using a rectangular column made of transparent material so that the inside of the column can be seen, and used a ball-shaped packing material of glass and Raschig ring. Observations made by dividing the height of the column into 6 equal segments, namely within 10, 20, 30, 40, 50 and 60 cm from the bottom of the column and was named  $Z_0$  to  $Z_5$ . Observation of the droplet changes done visually and recorded with a digital camera on the segment level. From the images obtained can be calculated diameter and the number of droplets formed, can then be determined size, distribution, and also observed the movement of the dispersed phase drops as it passes through the crevices of the glass ball or stuffing material Raschig ring. The experimental results show that the drop size distribution is likely to lead to a smaller diameter with increasing distance from the bottom of the column. The movement of the dispersed phase drops in the column is affected by flow rate and packing material are used.

Keywords: packing material, drops distribution, drops movement

## PENDAHULUAN

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 harus kecil. Hal ini dapat dicapai bila salah satu cairan terdispersi di dalam cairan yang lainnya. Cairan akan terdispersi dalam bentuk tetesan, disebut fasa terdispersi, sedangkan cairan yang lainnya disebut fasa kontinyu. Perubahan ukuran tetesan tersebut sangat berpengaruh terhadap besarnya area permukaan kontak serta besarnya hambatan perpindahan massa.

Dalam proses pemisahan, hambatan perpindahan massa sering dinyatakan dengan besaran yang menggambarkan mudah tidaknya massa berpindah dari cairan yang satu ke cairan yang lainnya. Besaran tersebut dikenal sebagai koefisien perpindahan massa. Kolom isian memiliki beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan kolom kosong, misalnya kolom semprot (*spray column*) yaitu 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.

Namun dalam kolom isian, penggabungan dan pemecahan tetesan tetap terjadi dalam intensitas yang tinggi, sehingga besarnya area permukaan kontak dan koefisien perpindahan massa di dalam kolom sangat bervariasi.

## DASAR TEORI

Proses pemisahan zat yang ada dalam larutan ke pelarut merupakan proses perpindahan massa yang memerlukan luas permukaan kontak yang besar. Hal ini dapat dicapai dengan baik jika pelarut yang didispersikan dalam bentuk tetesan kecil ke dalam larutan atau sebaliknya, pelarut asal yang berisi umpan yang didispersikan ke dalam pelarut. Syarat proses terbentuknya tetesan dalam fasa kontinyu ketika cairan sebagai fasa dispersi dialirkan ke dalam cairan lainnya yang bertindak sebagai fasa kontinyu, adalah :

- Densitas fasa terdispersi lebih kecil dari densitas fasa kontinyu.
- Viskositas fasa terdispersi lebih kecil dari viskositas fasa kontinyu.
- Tegangan permukaan fasa terdispersi lebih kecil dari tegangan permukaan fasa kontinyu.

Pada kolom tanpa isian untuk tetesan tunggal, kecepatan terminalnya dipengaruhi oleh gaya apung (*bouyancy*) dan gaya

gesek. Masing-masing gaya tersebut dirumuskan dalam persamaan berikut :

Gaya apung dirumuskan dengan

$$F_b = gV_d(\rho_c - \rho_d) \quad (1.)$$

Gaya gesek dirumuskan dengan

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho_c A_{pr} U_s^2 \quad (2.)$$

Kesetimbangan gaya tercapai apabila tetesan bergerak pada kecepatan terminalnya dan tidak terjadi interaksi antar tetesan atau dengan kata lain gaya apung sama dengan gaya gesek sehingga dapat dinyatakan :

$$F_b = F_d \quad (3.)$$

Pada kecepatan rendah (*creeping flow*) tetesan dapat dianggap berbentuk bola kaku mengikuti hukum *stoke* dan ukuran tetesan meningkat seiring dengan dengan meningkatnya kecepatan. Secara analitik gaya gesek dapat dihasilkan dari persamaan gerak *Navier-Stokes* dengan kondisi batas diasumsikan gaya inersia diabaikan pada permukaan tetesan dan kecepatannya dianggap tidak ada.

$$F_d = 3\pi\mu_c\phi U \quad (4.)$$

$$C_D = \frac{24\mu_c}{\rho_c U \phi} = \frac{24}{Re} \quad (5.)$$

$$U = \frac{\phi^2 \Delta \rho g}{18\mu_c} \quad (6.)$$

Pada kecepatan yang tinggi tetesan tidak lagi berbentuk bola, hal ini menunjukkan adanya penyimpangan bentuk tetesan (distorsi). Di samping itu, pada kecepatan yang tinggi tetesan akan mengalami sirkulasi internal dan berosilasi sehingga pada kondisi tertentu tetesan dapat pecah menjadi tetesan yang berukuran lebih kecil.

Bentuk tetesan yang sedang mengalami pergerakan tergantung pada kesetimbangan antara tekanan hidrodinamik yang ditimbulkan oleh kecepatan relatif tetesan terhadap media cairan tempat pergerakan tetesan dan gaya-gaya

permukaan yang cenderung membuat bentuk tetesan berupa bola.

## METODE PENELITIAN

Pengamatan dinamika tetes dalam kolom isian dilakukan pada kolom yang terbuat dari bahan transparan yang penampangnya segi empat sehingga gerakan tetesan dalam kolom dapat diamati secara visual serta dapat direkam dengan kamera digital. Kolom yang digunakan tingginya 100 cm dan penampangnya 4,5 x 10 cm. Kolom tersebut diisi dengan isian setinggi 60 cm, jenis raschig ring 1 x 1 cm atau bola kaca berdiameter 1 cm. N-heksan adalah cairan yang membentuk tetesan atau yang dispersi. Cairan ini dialirkan melalui sebuah distributor berbentuk pipa yang diletakkan menyilang dan memiliki 4 buah nosel berdiameter 1,5 mm dengan jarak antar nosel 70 mm. Distributor tersebut diletakkan pada jarak 5 cm dari dasar isian. Dalam pengamatan ini, gerakan **fasa dispersi (Qd)** divariasikan pada laju 0,14 ; 2,0 dan 4,27 mL/detik. Air merupakan cairan tempat dispersinya tetesan, disebut **fasa kontinyu (Qc)**, bergerak dalam kolom dari atas menuju ke bawah dengan laju 2,67 mL/detik. Agar dinamika atau gerak tetesan dalam kolom dapat diamati dengan baik, maka tetesan diberi warna agar terjadi perbedaan warna yang mencolok antara n-heksan dan air. Tetesan tersebut diberi warna merah dengan menambahkan sedikit zat warna *oil-based*. Untuk dapat melihat pengaruh perubahan diameter tetes dalam kolom, maka kolom dibagi dalam 6 segmen ketinggian dimana masing-masing segmen tersebut tingginya 10 cm. Pada segmen antara ketinggian isian dari 0 sampai 10 cm dinamakan segmen  $Z_0$ , kemudian dari ketinggian isian 10 sampai 20 cm dinamakan segmen  $Z_1$  dan seterusnya hingga segmen  $Z_5$ . Pada tiap tempuhan atau variasi laju alir fasa dispersi, dilakukan pengamatan serta perekaman dinamika tetes disemua segmen.

Hasil yang diperoleh kemudian diolah, sehingga diperoleh distribusi ukuran tetes dimasing-masing segmen. Dari hasil ini selanjutnya diamati lebih jauh mengenai perubahan diameter tetes fasa terdispersi saat melewati isian bola kaca maupun raschig ring, perubahan diameter tetes

selama melewati isian diwujudkan dalam kurva perubahan kecenderungan tetes saat melewati kedua bahan isian tersebut.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengamatan di tiap tempuhan akan menghasilkan rekaman gambar tetesan yang

**Tabel 1. Klasifikasi Diameter Tetes**

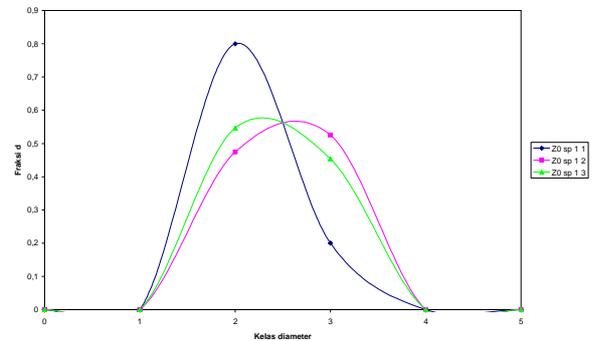
Kelas Diameter	Rentang Diameter Tetes [mm]
$d_0$	$\leq 0,50$
$d_1$	0,50 – 1,49
$d_2$	1,50 – 2,49
$d_3$	2,50 – 3,49
$d_4$	3,50 – 4,49
$d_5$	$\geq 4,50$

memiliki luas proyeksi penampang sama dengan luas gambar tetesan yang terekam. Setelah itu, di tiap segmen dilakukan perhitungan banyaknya tetesan pada suatu rentang diameter tertentu. Dalam hal ini, diameter tetes diklasifikasikan kedalam 6 kelas diameter yang di namai sebagai  $d_0$ ,  $d_1$  sampai  $d_5$ . Tabel 1. memperlihatkan klasifikasi diameter tetes berdasarkan rentang ukuran tetes.

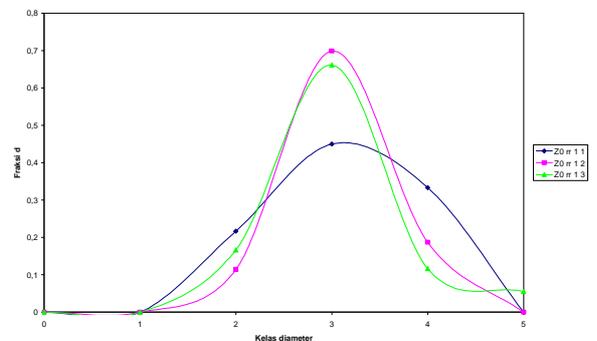
Berikutnya dilakukan plotting untuk masing-masing segmen ketinggian dengan bahan isian bola kaca dan raschig ring. Ploting dibuat untuk tiga variasi laju alir fasa terdispersi. Beberapa contoh plot dapat disimak dalam gambar berikut

Berdasarkan eksplorasi hasil yang diberikan pada Gambar 1, pada laju alir fasa terdispersi rendah, pada segmen  $Z_0$  distribusi

ada di tiap segmen, kemudian dari gambar tetesan yang dua dimensi tersebut dilakukan kuantifikasi diameter tetes dengan pendekatan tetes berbentuk bola yang



**Gambar 1. Kurva pada  $Z_0$  bahan isian bola kaca  $Q_c = 2,67$  ml/dtk,  $Q_d$  variasi** tetes berupa kurva distribusi normal. Kelas diameter yang terdistribusi adalah dari  $d_1$  sampai dengan  $d_4$  yang terbanyak adalah  $d_2$ . Kenaikan laju alir menyebabkan ada sedikit perubahan pada distribusi tetesan, kelas diameter masih pada  $d_1$  hingga  $d_4$ . jumlah  $d_2$  menurun dan  $d_3$  naik cukup tajam. Pada laju yang tertinggi  $Q_{d3}$ , bentuk kurva hampir sama dengan sebelumnya hanya bergeser jumlahnya. Terbanyak adalah  $d_2$  dan  $d_3$  menurun.



**Gambar 2. Kurva pada  $Z_0$  bahan isian raschig ring,  $Q_c = 2,67$  ml/dtk,  $Q_d$  variasi**

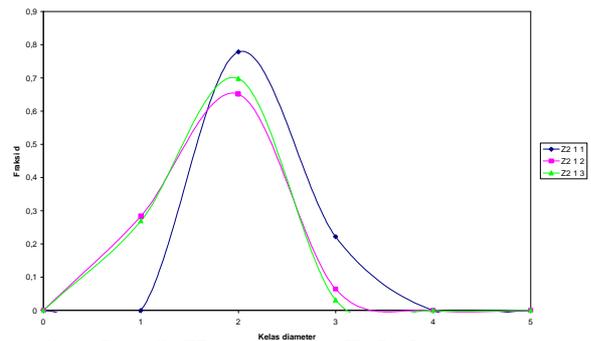
Dengan demikian yang terjadi pada  $Z_0$ , laju rendah tetes hanya lewat pada celah bahan isian. Kenaikan laju alir menjadi 2,0 ml/dtk menyebabkan ada peristiwa gabung tetesan yang ditunjukkan dengan menurunnya  $d_2$  dan naiknya  $d_3$ . pada laju alir yang tertinggi, ada peristiwa tabrakan dengan bahan isian, ditunjukkan dengan meningkatnya  $d_2$  dan menurunnya  $d_3$ .

Berikutnya menggunakan bahan isian raschig ring Gambar 2.,memberikan pengaruh yang sangat berbeda. Bentuk kurva masih sama distribusi normal. Yang berbeda adalah rentang kelas diameter yang terdistribusi, pada laju rendah  $Qd_1$  maupun  $Qd_2$  dan  $Qd_3$  rentang diameter yang terdistribusi adalah kelas diameter  $d_1$  hingga  $d_4$ . peningkatan laju alir fasa terdispersi  $Qd$  pada  $Z_0$  menyebabkan penurunan jumlah kelas diameter  $d_4$  dan  $d_2$  dan menaikkan jumlah  $d_3$ .

Pada laju alir fasa terdispersi rendah distribusi tetesan masih merata dan juga karena masih dekat dengan nosel maka distribusi tetes masih didominasi kelas diameter besar. Peningkatan laju alir menyebabkan tetesan fasa terdispersi pecah menjadi tetes berdiameter kecil namun juga diikuti dengan gabungannya tetesan.

Gambar 3 menunjukkan pada  $Z_2$  pergeseran distribusi sangat nyata dari kelas diameter  $d_4$  dan  $d_3$  yang sangat menurun bahkan untuk kelas  $d_4$  menjadi 0 dengan meningkatnya laju alir sementara untuk  $d_2$  terjadi penurunan jumlahnya. Pergeseran dikelas diameter  $d_2$ ,  $d_3$  dan  $d_4$  diikuti dengan kenaikan pada kelas  $d_1$  dan  $d_2$  pada laju  $Qd_3$  bahkan terlihat mendekati  $d_0$  lebih banyak dibandingkan pada  $Z_1$ . Ini menunjukkan peristiwa pecah tetesan karena menabrak bahan isian dominan terjadi pada gerakan tetes diantara celah isian. Kesimpulan semakin keatas terjadinya tabrakan yang menyebabkan perubahan diameter tetes berdiameter besar menjadi tetes berdiameter kecil semakin banyak terjadi.

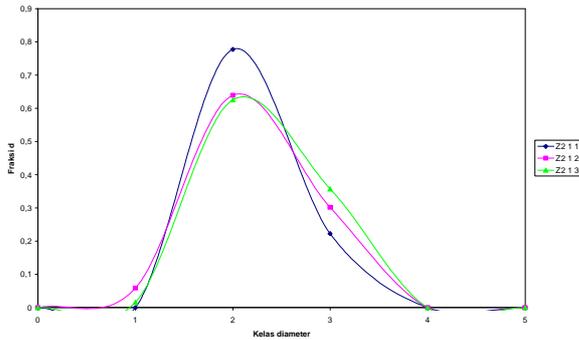
Gambar 4 menunjukkan pada  $Z_2$  rentang diameter terdistribusi sama pada laju alir fasa terdispersi yang beda, yaitu dari  $d_1$  hingga  $d_4$ . Hanya jumlahnya yang berbeda, perbedaan ini menunjukkan adanya peristiwa gabung tetesan. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya kelas diameter  $d_3$  yang diikuti penurunan kelas diameter  $d_2$ . Kesimpulan pada  $Z_2$  banyak menunjukkan peristiwa gabung tetesan dari kelas diameter kecil menjadi kelas diameter yang lebih besar. Dalam hal ini ditunjukkan berkurangnya kelas  $d_2$  dan bertambahnya  $d_3$ .



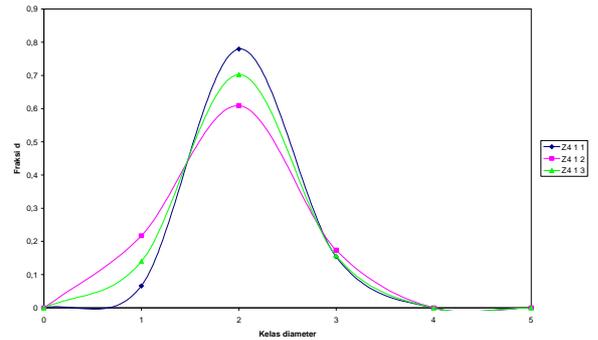
**Gambar 3. Kurva pada  $Z_2$  bahan isian bola kaca  $Qc = 2,67$  ml/dtk,  $Qd$  variasi**

Pada  $Z_4$  Gambar 5, distribusi tetes fasa terdispersi secara umum mirip dengan  $Z_3$  hanya pergeseran kearah diameter tetes kelas  $d_2$ ,  $d_1$  dan  $d_0$  lebih banyak lagi seiring dengan kenaikan laju alir fasa terdispersi. Hal ini lebih membuktikan bahwa peristiwa pecah tetes fasa terdispersi lebih banyak terjadi seiring dengan semakin tinggi segmen pengamatan. Kesimpulan distribusi tetes fasa terdispersi mengalami pergeseran dari tetesan berkelas diameter besar menjadi tetesan berkelas diameter kecil seiring dengan semakin jauh jaraknya dari dasar kolom.

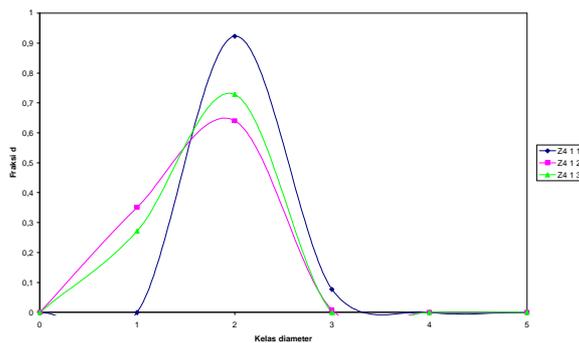
Sepintas bentuk kurva pada  $Z_4$  Gambar 6 mirip dengan  $Z_3$  Gambar 8. Hanya pada  $Z_4$  peningkatan laju alir fasa terdispersi  $Qd_1$  menjadi  $Qd_2$  menyebabkan jumlah  $d_2$  menurun dan meningkatnya jumlah  $d_1$  dan  $d_3$ . ini dimungkinkan  $d_2$  pecah menjadi  $d_1$  dan sebagian pecahan  $d_2$  bergabung menjadi  $d_3$ . peningkatan laju alir lebih lanjut menyebabkan penurunan jumlah  $d_1$  dan  $d_3$  diikuti peningkatan jumlah  $d_2$ . Kesimpulan pada  $Z_4$  peristiwa pecah dan gabung tetesan terjadi berimbang dengan peningkatan laju alir fasa terdispersi.



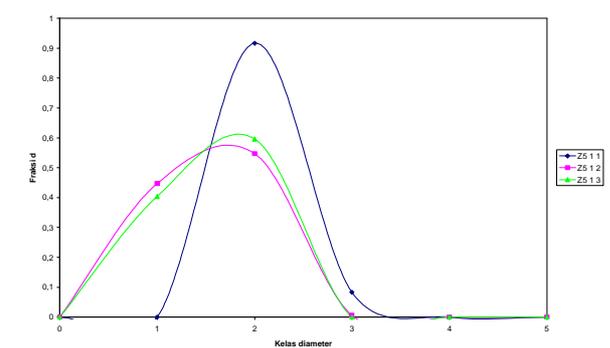
**Gambar 4. Kurva pada  $Z_2$  bahan isian raschig ring  $Q_c = 2,67$  ml/dtk,  $Q_d$  variasi**



**Gambar 6. Kurva pada  $Z_4$  bahan isian raschig ring  $Q_c = 2,67$  ml/dtk,  $Q_d$  variasi**



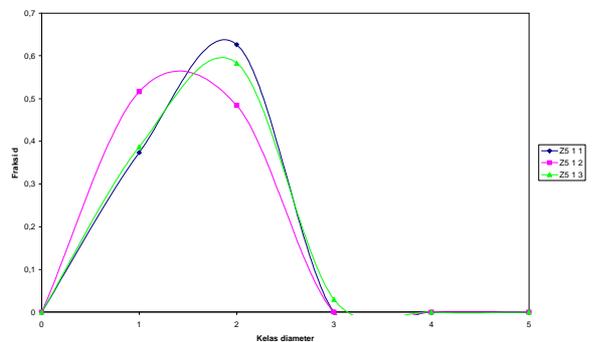
**Gambar 5. Kurva pada  $Z_4$  bahan isian bola kaca  $Q_c = 2,67$  ml/dtk,  $Q_d$  variasi**



**Gambar 7. Kurva pada  $Z_5$  bahan isian bola kaca  $Q_c = 2,67$  ml/dtk,  $Q_d$  variasi**

Gambar 7 menunjukkan distribusi tetes fasa terdispersi pada kelas diameter  $d_1$  dan  $d_2$  lebih banyak dibandingkan pada  $Z_4$ . Keadaan ini semakin membuktikan bahwa peristiwa pecah tetesan sangat dominan bila dibandingkan dengan peristiwa gabung tetesan. Peristiwa pecah tetesan mengikuti pola 1 tetesan berdiameter besar pecah menjadi 2 tetesan berdiameter yang lebih kecil.

Gambar 8 menunjukkan perbedaan yang nyata dengan  $Z_4$  isian yang sama. Rentang diameter yang terdistribusi memang sama dari  $d_0$  hingga  $d_3$ . Peningkatan laju alir dari  $Q_{d1}$  ke  $Q_{d2}$  menyebabkan penurunan jumlah kelas diameter  $d_2$  diiringi dengan meningkatnya jumlah  $d_1$ . Perubahan laju alir dari  $Q_{d2}$  ke  $Q_{d3}$  menyebabkan penurunan jumlah  $d_1$  diiringi peningkatan jumlah  $d_2$  secara seimbang. Kesimpulan pada  $Z_5$  peristiwa pecah tetesan terjadi seimbang dengan peristiwa gabung tetesan.



**Gambar 8. Kurva pada  $Z_5$  bahan isian raschig ring  $Q_c = 2,67$  ml/dtk,  $Q_d$  variasi**

### KESIMPULAN

Mengamati pergerakan tetes fasa terdispersi pada dua jenis bahan isian serta tiga laju alir fasa terdispersi secara umum bisa diambil kesimpulan sebagai berikut. Pada bahan isian bola kaca, karena isian bola kaca mempunyai derajat keteraturan yang tinggi pergerakan tetes fasa terdispersi diantara celah yang ada tidak mengalami hambatan. Ini bisa dibuktikan pada laju alir rendah seakan tetesan hanya melewati celah yang ada tanpa

terjadi interaksi dengan bahan isiannya. Peningkatan laju alir fasa terdispersi memberikan efek terjadinya tabrakan antara tetes dengan bahan isian. Pecahnya tetesan pada isian bola kaca sebenarnya tidak saja karena menabrak isian tapi juga dibantu dengan terjadinya gaya seret antara tetes dan permukaan isian. Sedangkan peristiwa gabung tetesan yang terjadi walaupun hanya sedikit lebih banyak terjadi karena interaksi antar tetes itu sendiri saat secara bersamaan melewati celah bahan isian. Terjadinya pertemuan antar tetes saat melewati celah antar bahan isian pada saat itulah tetes bergabung menjadi tetes yang berdiameter lebih besar dari diameter asalnya.

Pada isian raschig ring, jenis isian ini cenderung berada secara acak dalam kolom isian. Keadaan acak dalam kolom menyebabkan lintasan atau celah antar isian menjadi tidak berturan. Ketidak beraturan ini menyebabkan tetes yang mengalir banyak yang terperangkap tidak bisa bergerak. Perubahan laju alir akan menyebabkan terjadinya peristiwa tabrakan tetes dengan isian. Peristiwa tabrakan ini menghasilkan tetes yang diameternya lebih kecil dari diameter asalnya. Karena lintasan yang tidak beraturan menyebabkan timbulnya tetes yang bergabung karena terperangkap diantara celah bahan isian. Kecepatan pecah tetesan karena tabrakan hampir berimbang dengan gabung tetesan karena terperangkap. Pada laju alir yang lebih cepat kecenderungan peristiwa pecah lebih banyak mengingat tetes mempunyai kecepatan yang lebih besar untuk melepaskan diri dari perangkap karena isian.

## DAFTAR LAMBANG

Apr	luas area proyeksi tetesan
Cd	koefisien gesekan
Fb	gaya apung
Fd	gaya gesek
g	gaya gravitasi
Us	kecepatan slip tetesan
Vd	kecepatan fasa terdispersi
pc	densitas fasa kontinyu
pd	densitas fasa terdispersi
$\mu$ c	viskositas fasa kontinyu
$\mu$ d	viskositas fasa terdispersi

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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*, Chem. Eng. Sci., Vol. 44, Hal. 1295-1305.
- [2] Cournil, M. dan Herri, J.M. (2003), *Asymptotic Models for Gas-Liquid Crystallization in Two-Film Systems*, AIChE Journal, Vol. 49, No. 8, Hal. 2030-2440.
- [3] Cruz-Pinto, J.J. dan Korchinsky, W.J. (1981), *Drop Breakage in Counter Current Flow Liquid-Liquid Extraction Columns*, Chem. Eng. Sci., Vol. 36, Hal. 687-694.
- [4] Hamilton, J.A. dan Pratt, H.R.C. (1984), *Droplet Coalescence and Breakage Rates in a Packed Liquid Extraction Column*, AIChE Journal,

- Vol. 30, No. 3, Hal. 442-449.
- [5] Hulburt, H.M. dan Katz, S. (1964), *Some Problem in Particle Technology. A Statistical Mechanical Formulation*, Chem. Eng. Sci., Vol. 19, Hal. 555-574.
- [6] Kronberger, T., Ortner, A., Zulehner, W., dan Bart, H.J. (1995), *Numerical Simulation of Extraction Columns Using a Drop Population Model*, Computers Chem. Engng., Vol. 19, Hal. S639-S644.
- [7] Mohanty, S. (2000), *Modelling of Liquid-Liquid Extraction Column : A Review*, Review in Chemical Engineering, Vol. 16, No. 3, Hal. 199-248.
- [8] Mohanty, S. dan Vogelpohl, A. (1997), *A Simplified Hydrodynamic Model for a Pulsed Sieve-Plate Extraction Column*, Chemical Engineering and Processing, Vol. 36, Hal. 385-395.
- [9] Ruiz, M.C. dan Padilla, R. (2004), *Analysis of Breakage Functions for Liquid-Liquid Dispersions*, Hydrometallurgy, Vol. 72, Hal. 245-258.
- [10] Siebert, A.F. Fair, J.R. (1988), *Hydrodynamics and Mass Transfer in Spray and Packed Column*, Ind. Chem. Res., Vol. 27, Hal. 470-481.
- [11] Tsouris, C., Kirou, V.I., dan Tavlarides, L.L. (1994), *Drop Size Distribution and Holdup Profiles in a Multistage Extraction Column*, AIChE Journal, Vol. 40, No. 3, Hal. 407-418.
- [12] Weinstein, O., Semiat, R., dan Lewin, D.R. (1998), *Modelling, Simulation and Control of Liquid-Liquid Extraction Columns*, Chem. Eng. Sci., Vol. 53, No. 2, Hal. 325-339.
- [13] Zhang, J. dan Li, X. (2003), *Modelling Particle-Size Distribution Dynamics in a Flocculation System*, AIChE Journal, Vol. 49, No. 7, Hal. 1870-1882.