

PERSAMAAN DROP SIZE DI DALAM KOLOM BERPENGADUK CAKRAM (RDC)

Martunus dan Helwani

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya km 12,5 Panam, Pekanbaru 28293

Abstrak

Perpindahan massa dari satu fase cair ke fase cair lainnya di dalam kolom ekstraksi cair-cair ditentukan dengan luas perpindahan antara kedua fase. Luas perpindahan ini dapat dinyatakan dengan drop size yang merupakan faktor yang sangat penting dalam perancangan kolom ekstraksi cair-cair berpengaduk (Rotating Disc Contactor, RDC). Tiga model yang berhubungan dengan drop size dikembangkan untuk variabel operasi kolom yang didasarkan pada kecepatan putaran yaitu yaitu model untuk ekstraksi tanpa pengadukan atau pengadukan dengan putaran sangat rendah, model dengan kecepatan pengadukan medium, dan model pengadukan dengan putaran tinggi. Artikel ini berisi pembahasan persamaan drop size yang sudah dipublikasikan menyangkut ketiga kondisi operasi tersebut.

Kata kunci: drop size, ekstraksi cair-cair, RDC

Abstract

Mass transfer from one liquid phase to another in an agitated liquid-liquid extraction column is determined by the interfacial area between both phases. It makes the interfacial area, which can be represented by drop size, important for designing the column. Three models relating drop size to column operating variables had been developed based on the agitation speed, i.e. a model for extraction without or with very slow agitation, a model with medium-speed agitation, and a model with high-speed agitation. The aim of this research is to compare the performance of the three models.

Key words: drop size, liquid-liquid extraction, RDC

PENDAHULUAN

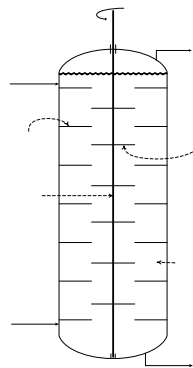
Drop size adalah sebuah peubah kunci di dalam ekstraksi cair-cair yang mempengaruhi hidrodinamika dan laju perpindahan massa. *Drop size* berpengaruh terhadap *holdup* fasa dispersi, waktu tinggal fasa dispersi, dan volum total kolom. Bersama dengan *holdup*, *drop size* akan mempengaruhi luas spesifik yang akibatnya berpengaruh pada koefisien perpindahan massa total. Berdasarkan hal tersebut, prediksi tentang *drop size* sangatlah penting untuk mencapai perpindahan massa tertentu.

Artikel ini membahas persamaan-persamaan prediksi *drop size* pada berbagai kondisi operasi di dalam RDC yang sudah dipublikasikan dalam berbagai jurnal. Prediksi *drop size* dilakukan dengan menggunakan data percobaan yang dilakukan oleh Martunus (2000). Hasilnya adalah persamaan yang dianjurkan untuk memprediksi *drop size* di dalam RDC.

RDC

RDC adalah alat ekstraksi cair-cair lawan arah yang berbentuk kolom berpengaduk. Kolom ini terdiri dari sejumlah pengaduk cakram berputar (*rotors*) yang menempel pada batang pengaduk (*shaft*) dan terletak di antara cincin statis (*stator rings*) yang membentuk sejumlah ruangan (*compartment*) seperti ditunjukkan pada gambar 1. Dalam operasi RDC, ada 2 fasa yang tidak saling melarutkan yang dikontakkan dengan sistim aliran lawan arah. Fasa yang mempunyai tahanan (viskositas) lebih besar atau fasa yang jumlahnya lebih sedikit di dalam kolom disebut fasa dispersi sedangkan fasa yang mempunyai tahanan lebih kecil atau fasa yang jumlahnya lebih banyak disebut fasa kontinu. *Drop size* di dalam kolom RDC terbentuk dari inlet fasa dispersi, dimana ukuran dan jumlahnya akan berubah di daerah kontak karena adanya kecepatan pengadukan dari rotor. Pada kecepatan pengadukan yang rendah atau lambat, gelembung-gelembung cairan yang keluar dari nozel (*liquid*

droplets) akan berukuran besar dan mengalir melewati daerah kontak. Kondisi ini mengakibatkan luas spesifik menjadi kecil sehingga laju perpindahan massa juga kecil. Pada kecepatan pengadukan yang tinggi, gelembung-gelembung yang keluar nozel akan pecah mejadi beberapa gelembung yang lebih kecil ketika berada di daerah kontak. Pada kondisi ini gelembung-gelembung berbentuk bola lebih kecil dengan jumlah yang banyak akan berputar sampai beberapa kali di daerah kontak sehingga kapasitas kolom menjadi lebih kecil maka luas spesifik menjadi besar dan laju perpindahan massa juga menjadi besar.



Gambar 1. Skema RDC

Drop Size

Drop adalah butiran cairan atau gelembung berbentuk bola yang terbentuk dari nozel aliran masuk fasa dispersi. *Drop size* yang keluar dari nozel sebelum masuk daerah kontak besarnya sesuai dengan diameter nozel yang digunakan, bahkan bisa menjadi lebih besar dari diameter nozel apabila kecepatan aliran fasa dispersi mengecil. Hubungan matematis *drop size*, *holdup* dengan luas spesifik, *a*, dan koefisien perpindahan massa total serta laju perpindahan massa sebagai berikut:

$$a = \frac{6x}{d} \tag{1}$$

$$N_A S = K_d a V (C_d - C_d^*) = K_c a V (C_c^* - C_c) \tag{2}$$

Untuk meperbesar nilai *a* pada persamaan (1) maka nilai *d* harus diperkecil. Dalam artikel ini akan ditampilkan persamaan-persamaan untuk memprediksi nilai *d* pada berbagai operasi dalam RDC. Persamaan yang memberikan nilai *d* yang terkecil nantinya akan dianjurkan untuk digunakan.

Kontribusi dari artikel ini yaitu membantu para akademisi mengenai hidrodinamika *drop size* dalam mata kuliah kolom pemisah khususnya RDC dan para peneliti yang melakukan percobaan dengan RDC agar mendapatkan hasil yang optimum.

Persamaan Drop Size

Penelitian atau publikasi yang menghasilkan persamaan empiris untuk menentukan *drop size* dapat dibagi berdasarkan operasi di dalam RDC sebagai berikut:

1. tanpa pengadukan atau dengan pengadukan yang sangat rendah ($Re < 10^3$).
2. pengadukan dengan kecepatan medium ($10^3 < Re < 6.10^4$)
3. pengadukan dengan kecepatan tinggi ($Re \geq 6.10^4$)

Persamaan ditampilkan dalam bentuk diameter *sauter mean drop* (d_{32}), dengan $d = d_{32}$ (Korchinsky, 1991).

Penelitian pada kisaran $Re < 10^3$ ini dilakukan oleh Misek dkk (1979), dimana penelitian ini diperoleh persamaan diameter *sauter mean drop* (d_{32}) sebagai berikut:

$$d_{32} = 0,79 [\sigma / (\Delta\rho g)]^{1/2} \tag{3}$$

Penelitian yang sama dilakukan oleh Fei dan Slater (1983) yang menyatakan bahwa

$$d_{32} = 0,92 [\sigma / (\Delta\rho g)]^{1/2} \tag{4}$$

Chang-Kakoti dkk (1985) mempelajari *drop size* untuk sistim n-butyl alkohol sebagai fasa dispersi dalam air, dimana menghasilkan persamaan empiris

$$d_{32} = 1,3 [\sigma / (\Delta\rho g)]^{1/2} \tag{5}$$

Kumar dan Hartland (1996) menyatakan bahwa hubungan *drop size* dengan peubah-peubahnya pada keadaan tanpa pengadukan sebagai berikut:

$$d_{32} = 0,74A \left(\frac{\Delta\rho\rho_d}{\rho_c^2} \right)^{-0,12} \left(\frac{\sigma}{\Delta\rho g} \right)^{1/2} \tag{6}$$

dengan : $A = 1$ tanpa perpindahan massa

$A = 1,23$ untuk perpindahan massa dari fasa dispersi ke fasa kontinyu ($d \rightarrow c$).

Untuk kondisi operasi medium ($10^3 < Re < 6.10^4$), Misek (1964) mempublikasikan persamaan *drop size* di dalam RDC sebagai berikut:

$$d_{32} N^2 D^2 \rho_c / [\sigma \exp\{4,435(D_c - D)\}] = 1,345 \cdot 10^{-6} Re^{1,42} \tag{7}$$

dengan:

$$Re = \frac{ND^2 \rho_c}{\mu_c} \tag{8}$$

Marr dkk (1975, 1978) menyatakan *drop size* merupakan fungsi dari kecepatan pengadukan dengan persamaan

$$d_{32}/D = 0,17 (N^3 D^2 \rho_c / \sigma)^{0,2} (ND^2 \rho_c / \mu_c)^{0,6} \tag{9}$$

Blazej dkk (1978) mendapatkan hubungan *drop size* dengan peubah-peubah yang mempengaruhinya sebagai berikut:

$$d_{32}/D = 1,43 [V_d(1-x)/(xV_c)]^{0,45} [ND(1-x)/V_c]^{-0,565} [\rho_c HV_c / \{\mu_c(1-x)\}]^{-0,117} \tag{10}$$

Kumar dan Hartland (1986) menyatakan *drop size* dapat diprediksi dengan menggunakan persamaan

$$d_{32}/D = B (ND^2 \rho_c / \mu_c)^{-1,12} (\mu_c / (\sigma (cD)^{0,5}))^{-1,38} (D^2 \rho_c g / \sigma)^{-0,05} (\Delta\rho / \rho_c)^{-0,24} (H/D)^{0,42} \tag{11}$$

dengan: $B = 0,18$, tanpa perpindahan massa

$B = 0,2$, ada perpindahan massa.

Korchinsky (1992) melakukan simulasi *drop size* dengan persamaan sebagai berikut:

$$d_{32} = 3,6 \cdot 10^{-5} (H/D)^{0,18} (\rho_c^2 \sigma / (g \mu_c^4 \Delta \rho))^{0,13} (4P / (\pi D_c^2 H \rho_c))^{-0,2} \quad (12)$$

$$P = 6,87 Re^{-0,568} \rho_c N^3 D^5 \quad (13)$$

Schmidt dkk (2006) dengan menggunakan persamaan Cauwenberg menyatakan bahwa *drop size* merupakan fungsi bilangan Weber (We) dan bilangan Reynolds (Re)

$$d_{32}/D = 0,17 We^{-1,2} Re^{0,6} \quad (14)$$

$$We = \rho_c N^2 D^3 / \sigma \quad (15)$$

Pada kecepatan pengadukan tinggi ($Re \geq 6 \cdot 10^4$), Reman dan van der Vusse (1955) adalah peneliti pertama mengkaitkan pengaruh energi yang dibutuhkan oleh rotor dengan persamaan

$$d_{32} = 0,3 [\sigma / \rho_c]^{0,6} \psi^{-0,4} \quad (16)$$

dengan:

$$\psi = 4P / (\pi D_c^2 H \rho_c) \quad (17)$$

$$P / (N^3 D^5 \rho_c) = 6,78 Re^{-0,568} \quad (18)$$

Strand dkk (1962) menemukan hubungan *drop size* dengan energi yang dibutuhkan rotor sebagai berikut:

$$d_{32} = 0,3 [\sigma / \rho_c]^{0,6} \psi^{-0,4} \quad (19)$$

$$\psi = 4PN^3 D^5 / [(\pi D_c^2 H)(N^3 D^5 \rho_c)] \quad (20)$$

Kagan dkk (1964) mempublikasikan persamaan *drop size* sebagai berikut:

$$\frac{d_{32}}{(\sigma / \rho_c g)^{0,5}} = 16,7 (ND^2 \rho_c / \mu_c)^{-0,3} (N^2 D / g)^{-0,3} n^{-0,23} \quad (21)$$

Fischer (1973) di dalam publikasi Kumar dan Hartland (1986) meneliti *drop size* berdasarkan pengaruh *impeller* pada sistim toluen-butyl asetat-air dan menghasilkan persamaan

$$d_{32}/D = 0,62 \left[1 + 35 / \left(n^{1,22} (N^2 D^3 \rho_c / \sigma)^{0,5} \right) (N^2 D^3 \rho_c / \sigma)^{-0,52} (1 + 2x) \right] \quad (22)$$

Misek dan Marek (1983) menggunakan 2 RDC dengan diameter 5,4 dan 20 cm dimana persamaan *drop size* yang diperoleh adalah

$$d_{32} N^2 D^2 \rho_c / [\sigma \exp \{4,435 (D_c - D)\}] = 43,45 (H/D_c)^{0,46} \quad (23)$$

Chang-Kakoti dkk (1985) menyatakan bahwa *drop size* dapat diprediksi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d_{32} = 3,6 \cdot 10^{-5} (H/D)^{0,18} (\rho_c^2 \sigma / (g \mu_c^4 \Delta \rho))^{0,13} (4P / (\pi D_c^2 H \rho_c))^{-0,2} \quad (24)$$

$$P = 0,069 Re^{0,155} \rho_c N^3 D^5 \quad (25)$$

Kumar dan Hartland (1996) meneliti *drop size* dengan menggunakan berbagai kolom ekstraktor berpengaduk, dimana memperoleh persamaan

$$\frac{d_{32}}{H} = \frac{B_1 (D_s/D_c)^{1,28}}{1 + \frac{1}{2,54 \left(\frac{\sigma}{\Delta \rho g H^2} \right)^{0,5} + 0,97 \left[\left(\frac{\psi}{g} \right) \left(\frac{\rho_c}{g \sigma} \right)^{0,25} \right]^{-0,45} \left[H \left(\frac{\rho_c g}{\sigma} \right)^{0,5} \right]^{-1}}} \quad \dots\dots\dots(26)$$

dengan: $B_1 = 1$, tanpa perpindahan massa
 $B_1 = 1,29$, ada perpindahan massa
 ψ mengikuti persamaan (17)

Vikhansky dkk (2006) melakukan simulasi *drop size* menggunakan persamaan (16) dan (17) dengan P sebagai berikut:

$$P = 8,48 Re_D^{-0,4} \omega^3 D^5 \quad (27)$$

$$\text{dengan: } Re_D = \rho_c D^2 \omega / \mu_c \quad (28)$$

$$\omega = 2 \pi N \quad (29)$$

Schmidt dkk (2006) dengan menggunakan persamaan Cauwenberg menyatakan *drop size* merupakan fungsi dari bilangan Weber (We) dan bilangan Reynolds (Re)

$$d_{32}/D = 0,343 We_D^{-1,2} Re_D^{0,7} \quad (30)$$

dengan Re_D mengikuti persamaan (28)

$$We_D = \rho_c 4 \pi^2 N^2 D^3 / \sigma \quad (31)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan *drop size* ini menggunakan data tesis MT Martunus (2000), yang menggunakan geometri RDC diameter dalam kolom (D)=9,5 cm, diameter stator (D_s)=7,5 cm, diameter rotor (D_r)=5 cm, tinggi satu ruang (H)=5 cm, dan jumlah ruang (n)=10. Sistim yang digunakan adalah (karboksi metil selulosa (CMC)+air)-kerosin dimana kerosin sebagai fasa dispersi untuk proses tanpa perpindahan massa. Sedangkan untuk proses dengan proses perpindahan massa menggunakan kerosin-asam asetat-air dengan umpan (kerosin+asam asetat) sebagai fasa dispersi dan asam asetat sebagai solut. Arah perpindahan massa yaitu dari fasa dispersi ke fasa kontinyu (d→c). Sifat fisis sistim tanpa perpindahan massa dapat dilihat pada tabel 1 sedangkan sistim dengan perpindahan massa disajikan pada tabel 2.

Tanpa Pengadukan (Re < 10³)

Hasil perhitungan d_{32} untuk kondisi operasi tanpa pengadukan atau pengadukan dengan kecepatan sangat rendah (< 24 rpm) disajikan pada tabel 3. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan muka cairan atau (viskositas fasa kontinyu) di dalam kolom maka *drop size* semakin kecil.

Pada kondisi operasi RDC tanpa pengadukan ($Re < 10^3$) maka operasi RDC dianggap sama dengan operasi spray kolom. Pada ekstraktor cair-cair lawan arah jenis spray kolom kisaran d_{32} yaitu 4,0 mm sampai 7,5 mm (Laddha dan Degaleesan, 1976). Dari tabel 3 yang memberikan *drop size* lebih kecil adalah persamaan Misek dkk (1979), tapi nilai d_{32} yang diperoleh berada dalam kisaran kecepatan pengadukan medium atau tidak dapat digunakan pada $\sigma > 36$ mN/m. Sedangkan publikasi Kumar dan Hartland (1996), tidak dapat digunakan pada sistim cair-cair yang memberikan $\sigma > 43$ mN/m. Umumnya RDC digunakan untuk sistim cair-cair dengan kisaran σ yaitu 5,4 mN/m sampai 43 mN/m (Kumar dan

Hartland, 1986). Oleh karena itu kami menyarankan untuk menggunakan persamaan Kumar dan Hartland (1996) atau Fei dan Slater (1983) untuk kondisi tanpa pengadukan atau pengadukan dengan kecepatan putaran rendah ($Re < 10^3$). Perlu dicatat, untuk keperluan pilot

plant dan industri, kondisi tanpa pengadukan tidak akan pernah digunakan di dalam RDC.

Tabel 1. Sifat fisis sistim tanpa perpindahan massa

cmc, % wt	ρ_c , kg/m ³	ρ_d , kg/m ³	μ_c , mPa.s	μ_d , mPa.s	σ , mN/m	V_c , mm/s	V_d , mm/s
0	1000	790	1	1,77	42	2,88	2,2
0,3	1010	790	3	1,77	43	2,88	2,2
0,6	1030	790	9,8	1,77	45	2,88	2,2

Tabel 2. Sifat fisis sistim untuk perpindahan massa

ρ_c , kg/m ³	ρ_d , kg/m ³	μ_c , mPa.s	μ_d , mPa.s	σ , mN/m	V_c , mm/s	V_d , mm/s
1000	860	1	2,4	36	2,88	2,2

Tabel 3. Drop size pada tanpa pengadukan

Tanpa Perpindahan massa				Perpindahan massa
d ₃₂ , mm				
Publikasi	$\sigma = 42$ mN/m	$\sigma = 43$ mN/m	$\sigma = 45$ mN/m	$\sigma = 36$ mN/m
Misek dkk. (1979)	3,57	3,52	3,46	4,05
Fei dan Slater (1983)	4,16	4,1	4,02	4,71
Chang-Kakoti dkk. (1985)	5,87	5,81	5,69	6,66
Kumar dan Hartland (1996)	4,15	4,08	3,98	4,89

Tabel 4. Drop size pada pengadukan dengan kecepatan medium

Tanpa Perpindahan massa					Perpindahan massa			
d ₃₂ , mm								
Publikasi	$\sigma = 42$ mN/m				$\sigma = 36$ mN/m			
	N=15	N=16,67	N=18,33	N=20	N=15	N=16,67	N=18,33	N=20
	rps	rps	rps	rps	rps	rps	rps	rps
Misek (1964)	0,77	0,72	0,68	0,65	0,66	0,62	0,58	0,55
Marr dkk. (1975, 1978)	1,92	1,59	1,34	1,14	1,59	1,32	1,11	0,94
Blazej dkk. (1978)	2,08	1,73	1,64	1,56	2,41	2,0	1,9	1,81
Kumar dan Hartland (1986)	2,01	1,79	1,01	0,91	1,81	1,3	0,78	0,68
Korchinsky (1992)	1,54	1,45	1,39	1,33	1,12	1,05	1,01	0,97
Schmidt dkk. (2006)	1,9	1,6	1,34	1,14	1,58	1,32	1,10	0,94

Tabel 5. Drop size pada pengadukan dengan kecepatan tinggi

Tanpa Perpindahan massa					Perpindahan massa			
d ₃₂ , mm								
Publikasi	$\sigma = 42$ mN/m				$\sigma = 36$ mN/m			
	N=25	N=27,5	N=29,17	N=30,83	N=25	N=27,5	N=29,17	N=30,83
	rps	rps	rps	rps	rps	rps	rps	rps
Reman dan Van der Vusse (1955)	1,42	1,29	1,22	1,15	1,3	1,18	1,12	1,06
Strand dkk. (1962)	1,42	1,29	1,22	1,15	1,31	1,18	1,12	1,06
Kagan dkk. (1964)	0,52	0,48	0,46	0,44	0,48	0,44	0,42	0,4
Fischer (1973)	0,91	0,82	0,77	0,72	0,84	0,76	0,71	0,66
Misek dan Marek (1983)	1,01	0,88	0,78	0,7	0,91	0,79	0,7	0,63
Chang-Kakoti dkk. (1985)	1,21	1,14	1,1	1,07	1,19	1,12	1,08	1,05
Kumar dan Hartland (1996)	1,42	1,3	1,23	1,16	1,54	1,47	1,44	1,41
Vikhansky dkk. (2006)	1,46	1,32	1,25	1,17	1,33	1,2	1,14	1,07
Schmidt dkk. (2006)	0,49	0,41	0,35	0,29	0,17	0,15	0,13	0,11

Pengadukan dengan Kecepatan Medium

Pada kondisi medium, kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 900 rpm sampai 1200 rpm ($Re=37500$ sampai 50000). Hasil perhitungan untuk kondisi ini dapat dilihat pada tabel 4. Pada kondisi ini d_{32} merupakan fungsi dari kecepatan pengadukan (N). d_{32} dengan adanya perpindahan massa lebih kecil dari d_{32} tanpa perpindahan massa pada kecepatan pengadukan yang sama. Kondisi ini disebabkan tahanan atau viskositas fasa dispersi dengan adanya perpindahan massa lebih besar dibanding dengan tanpa perpindahan massa. Pada viskositas yang lebih besar, fasa dispersi akan menjadi lebih kental sehingga ukuran gelembung induk (awal) yang keluar dari nozel inlet fasa dispersi akan relatif sama dengan diameter nozel. Sedangkan pada viskositas yang lebih kecil, *drop size* induk bisa lebih besar dari diameter nozel pada diameter nozel yang sama. Dengan adanya gaya dari pengadukan maka *drop size* induk akan pecah menjadi beberapa bagian yang lebih kecil.

Menurut Kumar dan Hartland (1996), kisaran d_{32} untuk pengadukan dengan kecepatan medium yaitu $4 \text{ mm} > d_{32} > 1,5$. Pada tabel 4, publikasi Misek (1964) dan Korchinsky (1992) tidak dapat digunakan pada $N \geq 15$ rps. Sedangkan publikasi Marr dkk (1975, 1978), Kumar dan Hartland (1986), Schmidt dkk (2006) tidak dapat digunakan pada $N \geq 18,33$ rps untuk $\sigma = 42 \text{ mN/m}$ atau $N \geq 16,67$ rps untuk $\sigma = 36 \text{ mN/m}$.

Kondisi yang sesuai untuk menggunakan persamaan Misek (1964), Marr dkk (1975, 1978), Kumar & Hartland (1986), Korchinsky (1992), dan Schmidt dkk (2006) ditampilkan pada gambar 2 dan 3. Kisaran penggunaan persamaan-persamaan tersebut sebagai berikut:

1. $\sigma = 36 \text{ mN/m}$

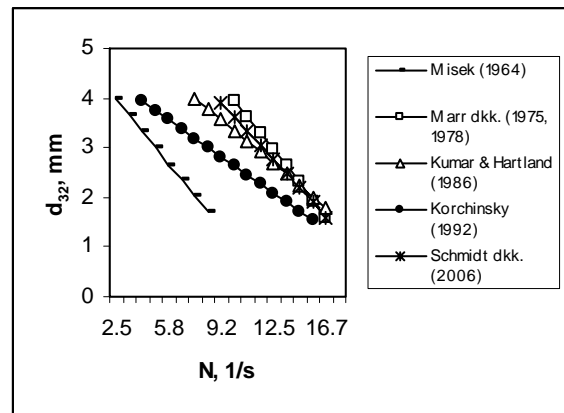
- Misek (1964): 2,2 sampai 8 rps
- Marr dkk. (1975, 1978): 9 sampai 15 rps.
- Kumar dan Hartland (1986): 7,5 sampai 15 rps.
- Korchinsky (1992): 4 sampai 13,5 rps.
- Schmidt dkk. (2006): 7,5 sampai 15 rps

2. $\sigma = 42 \text{ mN/m}$

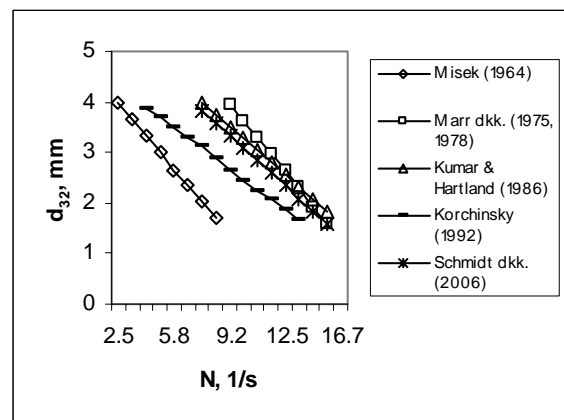
- Misek (1964): 2,5 sampai 8,3 rps
- Marr dkk. (1975, 1978): 10 sampai 16,67 rps.
- Kumar dan Hartland (1986): 7,5 - 16,67 rps.
- Korchinsky (1992): 4 sampai 15 rps.
- Schmidt dkk. (2006): 9 sampai 17 rps

Berdasarkan hasil tersebut penulis menyarankan, menggunakan publikasi Blazej dkk (1978) karena memberikan hasil perhitungan yang konsisten pada kon disisi kecepatan pengadukan medium walaupun bahan yang digunakan berbeda. Disamping itu d_{32} yang diperoleh berada dalam kisaran kondisi pengadukan medium yaitu $4 \text{ mm} > d_{32} > 1,5$ mm. Penentuan d_{32} pada operasi tanpa perpindahan massa dimaksudkan untuk mengetahui kisaran data d_{32} optimum sebelum terjadinya *flooding*. Pada kondisi *flooding* tidak terjadi

kontak antara fasa dispersi dan fasa kontinu sehingga tujuan perpindahan massa tidak tercapai.



Gambar 2. Kisaran N pada $\sigma = 42 \text{ mN/m}$ untuk kecepatan pengadukan medium.



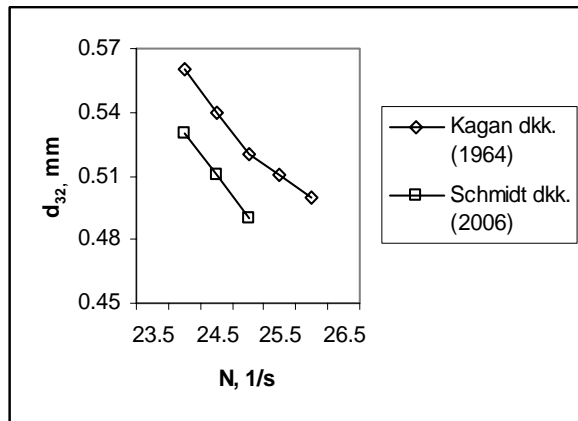
Gambar 3. Kisaran N pada $\sigma = 36 \text{ mN/m}$ untuk kecepatan pengadukan medium.

Pengadukan dengan Kecepatan Tinggi ($Re \geq 6.10^4$)

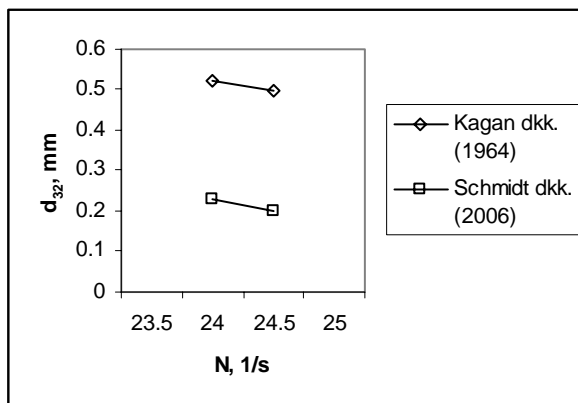
Pada tabel 5, hampir semua publikasi masuk ke dalam kisaran d_{32} pengadukan dengan kecepatan putaran tinggi kecuali publikasi Kagan dkk. dan Schmidt dkk. Menurut Kumar dan Hartland (1986), kisaran d_{32} untuk pengadukan dengan kecepatan tinggi yaitu $0,5 \text{ mm} < d_{32} < 1,5$ mm. Berdasarkan kisaran tersebut persamaan Kagan dkk (1964) hanya dapat digunakan pada $N \leq 27,5$ rps untuk $\sigma = 42 \text{ mN/m}$ atau $N < 25$ rps untuk $\sigma = 36 \text{ mN/m}$. Sedangkan persamaan Schmidt dkk (2006) dengan $N < 25$ rps untuk $\sigma = 42 \text{ mN/m}$ atau pada kisaran $\sigma > 42 \text{ mN/m}$.

Gambar 4 dan 5 menampilkan kisaran kecepatan pengadukan pada kondisi ini yang dapat digunakan untuk persamaan Kagan dkk dan Schmidt dkk. Persamaan Kagan dkk untuk $\sigma = 42 \text{ mN/m}$ pada kisaran $N = 24$ sampai 26 rps dengan kisaran $d_{32} = 0,5$ sampai $0,56$ mm atau $N = 24$ sampai $24,5$ rps dengan kisaran $d_{32} = 0,5$ sampai $0,52$ mm untuk $\sigma =$

36 mN/m. Sedangkan persamaan Schmidt dkk untuk mendapatkan $d_{32} \geq 0,5$ mm untuk $\sigma = 42$ mN/m pada kisaran $N = 24$ sampai 25 rps dan untuk $\sigma \leq 36$ mN/m tidak dapat digunakan. Berdasarkan hasil tersebut penulis menyarankan sebaiknya persamaan Kagan dkk (1964) dan Schmidt dkk (2006) digunakan pada nilai $\sigma > 42$ mN/m.



Gambar 4. Kisaran N pada $\sigma = 42$ mN/m untuk kecepatan pengadukan tinggi.



Gambar 5. Kisaran N pada $\sigma = 36$ mN/m untuk kecepatan pengadukan tinggi.

Menurut Kamath dan Subba Rau (1985) pada pengadukan 31,56 rps (1894 rpm), d_{32} yang diperoleh yaitu 0,74 mm. Sedangkan untuk $d_{32} = 0,5$ mm terjadi pada $N \geq 33,33$ rps (2000 rpm). Pada pengadukan ≥ 2000 rpm akan memberikan d_{32} yang konstan yaitu 0,5 mm.

Berdasarkan penelitian Kamath dan Subba Rau tersebut, maka publikasi yang paling mendekati adalah persamaan Chang-Kakoti dkk (1985).

KESIMPULAN

Persamaan-persamaan publikasi yang relatif baik untuk menentukan *drop size* di dalam RDC adalah untuk kondisi tanpa pengadukan dengan menggunakan publikasi Kumar dan Hartland (1996) atau Fei dan Slater (1983), kondisi pengadukan medium dengan

menggunakan publikasi oleh Blazej dkk (1978) sangat dianjurkan dan kondisi pengadukan tinggi dengan menggunakan publikasi oleh Chang-Kakoti dkk (1985).

DAFTAR NOTASI

- A, B, B_1 = konstanta.
- a = luas spesifik, m^2/m^3 .
- C_d, C_C = konsentrasi solut fasa dispersi dan kontinyu, $kgmol/m^3$
- C_d^*, C_C^* = konsentrasi solut fasa dispersi dan $kgmol/m^3$.
- D = diameter rotor, m.
- D_C = diameter kolom, m.
- D_S = diameter stator, m.
- d = diameter rata-rata *drop*, m.
- d_{32} = diameter sauter rata-rata *drop*, m.
- g = gaya gravitasi, m/s^2 .
- H = tinggi satu ruang, m.
- $K_C a$ = koefisien perpindahan massa total fasa kontinyu, m/s.
- $K_d a$ = koefisien perpindahan massa total fasa dispersi, m/s.
- N = Kecepatan pengadukan, rps.
- N_a = laju perpindahan massa, $kgmol m^{-2}s^{-1}$.
- n = jumlah ruang.
- P = tenaga yang dikonsumsi per satu ruang cakram, W.
- Re, Re_D = bilangan Reynolds.
- S = luas kolom, m^2 .
- V = volum kolom, m^3 .
- V_c = kecepatan aliran fasa kontinyu, m/s.
- V_d = kecepatan aliran fasa dispersi, m/s.
- We, We_D = bilangan Weber.
- x = holdup.
- $\Delta\rho$ = beda densitas antara kedua fasa, kg/m^3 .
- μ_c = viskositas fasa kontinyu, Pa.s.
- μ_d = viskositas fasa dispersi, Pa.s.
- ρ_c = densitas fasa kontinyu, kg/m^3 .
- ρ_d = densitas fasa dispersi, kg/m^3 .
- σ = tegangan muka, N/m.
- ψ = pemborosan tenaga per satuan massa campuran fasa, m^2/s^3 .
- ω = kecepatan angular putaran cakram, s^{-1} .

Subscript

- C = fasa kontinyu.
- d = fasa dispersi.

DAFTAR PUSTAKA

- Blazej, L., Vadja, M. and Bafrcova, S., (1978), "Hydrodynamic Properties of Rotary Disc Extractor: Part I-Distribution of the Size of Drops and Their Residence Time", *Chem. Zvesti.*, 32, pp.314-327.
- Chang-Kakoti, D. K., Fei, W-Y., Godfrey, J. C. and Slater, M. J., (1985), "Drop Size and Distributions in Rotating Disc Contactors Used for Liquid-Liquid Extraction", *J. Separ. Proc Tech.*, 60, pp.40-48.

- Fei, W-Y. and Slater, M. J., (1983), "A New Look at The Hydrodynamic Behaviour of Rotating Disc Contactors", *Proc. Int. Solvent Extr. Conf., American Institute of Chemical Engineers*, pp.174-175.
- Kagan, S. Z., Aerov, M. E., Volkova, T. S. and Trukhanov, V. G., (1964), "Calculation of the Drop Diameter in Rotary-Disc Extractors", *J. Appl. Chem. USSR.*, 37, pp. 67-73.
- Kamath, M. S. and Subba Rau, M. G., (1985), "Prediction of Operating Range of Rotor Speeds for Rotating Disc Contactors", *Can. J. Chem. Eng.*, 63, pp. 578-584.
- Korchinsky, W. J., (1991), "Hydrodynamic and Mass Transfer Parameter Correlation for the Rotating Disc Contactor", *J. Chem Tech. Biotechnol.*, 50, pp. 239-256.
- Korchinsky, W. J., (1992), "Liquid-Liquid Extraction Column Modelling: Is the Forward Mixing Influence Necessary?", *Trans. IChemE.*, 70, pp. 333-345.
- Kumar, A. and Hartland, S., (1986), "Prediction of Drop Size in Rotating Disc Contactor", *Can. J. Chem. Eng.*, 64, pp. 915-924.
- Kumar, A. and Hartland, S., (1996), "Unified Correlations for the Prediction of Drop Size in Liquid-Liquid Extraction Columns", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 35, pp. 2682-2695.
- Laddha, G.S. and Degaleesan, T.E., (1976), "*Transport Phenomena in Liquid Extraction*", Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd, New Delhi, pp. 334-376.
- Marr, R., Husung, G. and Moser, F., (1975), "Hydrodynamische Auslegung von Drehscheiben-Extraktoren (RDC)", *Chem. Ing. Tech.*, 47, pp. 198.
- Marr, R., Husung, G. and Moser, F., (1978), "Die Auslegung von Drehscheiben-Extraktoren", *Verfahrenstechnik*, 12, pp. 139-144.
- Martunus, (2000), "Flooding dan Perpindahan Massa di dalam Kolom Berpengaduk Cakram (RDC)", *MT Tesis*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Misek, T., (1964), "Rotating Disc Extractors and Their Design", *Statni Nakladatelstvi Techicke Literatury*, Prague.
- Misek, T., Marek, J. and Bergdorf, J., (1979), "Performance of ARD Extractors in the Purification of Caprolactum", *Proc. Int. Solvent Extr. Conf., The Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, 2, pp.1591-1617.
- Misek, T. and Marek, J., (1983), "Asymmetric Rotating Disc Extractor", in Lo, T. C., Baird, M. H. I. and Hanson, C.(Ed.) *Handbook of Solvent Extraction*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Reman, G. H. and van der Vusse, J. G., (1955), "Le Contacteur a Disques Rotatifs", *Genie Chim.*, 74, pp. 106-114.
- Schmidt, S. A., Simon, M., Attarakih, M. M., Luis, L. G. and Bart, H.-J., (2006), "Droplet Population Balance Modelling-Hydrodynamic and Mass Transfer", *Chem. Eng. Sci.*, 61, pp.246-256.
- Strand, C. P., Olney, R. B. and Ackerman, G. H., (1962), "Fundamental Aspects of Rotating Disk Contactor Performance", *AIChE J.*, 8, pp. 252-261.
- Vikhansky, A., Kraft, M., Simon, M., Schmidt, S. A. and Bart, H.-J., (2006), "Population Balance Modelling of a Droplet Size Distribution in a RDC: Inverse Problem Approach", *AIChE J.*, 52, pp. 1440-1450.

