KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA VOLUMETRIS KESELURUHAN PADA EKSTRAKSI Cu DARI LARUTAN CuSO₄·5H₂O DENGAN TRIBUTYL PHOSPHATE- KEROSIN DALAM *DOUBLE-STAGE MIXER-SETTLER*

Panut Mulyono, I Made Bendiyasa, Sarto, Tri Mustika, dan Heriyanto

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM
Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Tel. (0274) 6492171, Fax (0274) 6492170
E-mail: pmulyono@chemeng.ugm.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mempelajari perpindahan massa antar fasa pada ekstraksi Cu dari larutan CuSO₄·5H₂O dengan menggunakan pelarut tributyl phosphate dalam kerosin yang dilakukan dalam kolom ekstraksi double-stage mixer-settler yang disusun vertikal. Kolom ekstraksi mixer-settler dibuat dari gelas dengan diameter mixer sama dengan diameter settler, yaitu 13 cm. Tinggi mixer juga sama dengan tinggi settler, yaitu 8 cm. Diameter drop coalescer 8 cm, tebal 1 cm, dan diameter lubangnya 1 mm. Pengaduk yang digunakan berbentuk flat blade dengan diameter 6 cm dan lebar blade 8 mm. Koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan (K_{ca}) naik dengan naiknya kecepatan alir fasa kontinyu (L_c) pada kecepatan putaran pengaduk (N) dan kecepatan alir fasa dispersi (L_d) tetap. Kenaikan nilai L_c dari 4,1634 cm³/detik menjadi 17,9436 cm³/detik meningkatkan nilai K_{ca} dari 6,6387x10⁻⁵/detik menjadi 23,1561x10⁻⁵/detik atau 248,8%. K_{ca} juga naik dengan naiknya N pada L_c dan L_d yang tetap. Kenaikan nilai N dari 3,3333 rps menjadi 8,3333 rps meningkatkan nilai K_{ca} dari 6,0288x10⁻⁵/detik menjadi 6,6387x10⁻⁵/detik atau 10,1%.

Kata Kunci: koefisien perpindahan massa, ekstraksi, tembaga, double-stage mixer-settler

Abstract

Copper has been extracted by tributyl phosphate-kerosene from a dilute aqueous solution with a double-stage mixer-settler extraction column. The extraction column used in this experiment was made of glass. The mixer diameter was equal to the diameter of settler was 13 cm. Both the mixer and settler heights were 8 cm. Drop coalescer was mounted in the middle of mixer and settler separator. The diameter of drop coalescer was 6 cm with the thickness of 1 cm. The hole diameter of drop coalescer was 1 mm. The stirrer used in this experiment was cross flat blade with the diameter and width of the impeller was 6 cm and 8 mm, respectively. The overall volumetric coefficient of mass transfer (K_{ca}) increased by increasing the flowrate of the continuous phase (L_c) at the constants stirring speed (N) and flowrate of the dispersed phase (L_d). The increase of L_c from 4.1634 cm³/second to 17.9436 cm³/second increased the K_{ca} value from 6.6387x10⁻⁵/second to 23.1561x10⁻⁵/second or 248.8%. The value of K_{ca} was also increase by increasing N at the constant values of L_c and L_d . The increase of N from 3.3333 rps to 8.3333 rps increased the K_{ca} value from 6.0288x10⁻⁵/second to 6.6387x10⁻⁵/second or 10.1%.

Keywords : mass transfer coefficient, extraction, copper, double-stage mixer-settler

1. Pendahuluan

Tembaga (Cu) merupakan logam berat yang bila terbuang ke lingkungan merupakan zat pencemar yang berbahaya. Karena Cu tersebut berbahaya bagi lingkungan, maka limbah cair dari industri yang mengandung Cu tidak boleh dibuang langsung ke lingkungan. Cu dalam larutan yang encer sulit untuk dipungut/dibersihkan. Oleh karena itu diperlukan suatu teknik pemisahan dengan efisiensi yang tinggi.

Pemisahan atau pemungutan Cu dari limbah cair industri dapat dilakukan dengan cara ekstraksi menggunakan solven. Ekstraksi dapat dilakukan baik secara batch maupun sinambung, satu tingkat maupun multi tingkat. Ekstraksi multi tingkat dengan aliran berlawanan arah dapat digunakan secara efektif untuk memungut Cu dari limbah industri walaupun dalam konsentrasi yang rendah. Nii dkk. (1997) mengusulkan suatu jenis mixer-settler multi tingkat dengan kapasitas yang cukup besar, dan Takahashi dkk. (1993) menunjukkan bahwa mixer-settler multi tingkat mempunyai efisiensi yang tinggi bila dilakukan pengadukan yang cukup kuat. Secara umum, mixer settler merupakan suatu alat ekstraksi yang mempunyai kelebihan dibanding alat lain, yaitu sirkulasi aliran massa kedua fase (fase berat dan fase ringan) dapat diatur dengan baik dan tidak terjadi arus pintas dan backmixing.

Treybal (1964) mengusulkan menara segi empat dimana tiap-tiap tingkat terdiri atas sebuah mixer dan sebuah settler yang disusun secara horisontal, dan menunjukkan bahwa throughput naik dengan naiknya kecepatan pengadukan. Takahashi dkk. (1993) mengusulkan sebuah kolom ekstraksi mixer-settler dengan mixer dan settler disusun secara vertikal pada tiap-tiap tingkat, dan dapat dibuktikan bahwa baik throughput maupun efisiensi tingkat naik dengan naiknya kecepatan pengadukan. Nii dkk. (1997) membuktikan bahwa throughput maksimum dapat direalisasikan dengan kolom mixer-settler dan throughput dapat ditentukan dari pressure balance antara penurunan tekanan pada aliran cairan, tekanan yang diberikan oleh pengaduk, dan gaya boyansi dari fase terdispersi.

Untuk merancang kolom ekstraksi, karakteristik perpindahan massa harus diketahui. Pada kolom ekstraksi biasa, diameter butir fasa terdispersi dan kecepatan aliran fasa terdispersi tergantung pada posisi vertikal kolom (Kumar dkk., 1986 dan Kirou dkk., 1988), dan untuk memperkirakan secara akurat variabel-variabel itu cukup sulit. Hal tersebut membuat sulit penentuan koefisien perpindahan massa pada kolom ekstraksi. Akan tetapi pada mixer-settler, pembagian antar tingkat lebih jelas dari pada kolom ekstraksi, dan sifat-sifat hidrodinamika

pada suatu tingkat tidak dipengaruhi oleh tingkat lainnya, jadi sifat hidrodinamika antara tingkat yang satu dengan tingkat yang lain tidak saling berpengaruh. Kondisi tidak saling tergantung antar tingkat ini membuat analisis perpindahan massa tidak terlalu sulit untuk dilakukan.

Penelitian ini mempelajari perpindahan massa antar fasa pada ekstraksi Cu dari larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan menggunakan TBP dalam kerosin yang dilakukan dalam kolom mixer-settler dua tingkat (double stage) yang disusun vertikal. Nilai koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan diformulasikan sebagai fungsi dari peubah-peubah yang mempengaruhinya dalam bentuk bilangan tidak berdimensi. Peubah yang dipelajari pada penelitian ini adalah kecepatan volumetris fasa kontinyu dan kecepatan putaran pengaduk.

2. Fundamental

Double stage mixer-settler terdiri atas bagian mixer dan bagian settler yang dipisahkan dengan sekat yang dilengkapi dengan drop coalescer. Pada analisis perpindahan massa, diambil anggapan-anggapan sebagai berikut: (1) Ekstraksi Cu hanya terjadi di bagian mixer, sehingga konsentrasi fasa kontinyu dan fasa dispersi keluar mixer sama dengan konsentrasi masing-masing di bagian settler (terjadi pencampuran sempurna) dan (2) Fasa kontinyu dan fasa dispersi tidak saling melarutkan. Dengan anggapan-anggapan tersebut di atas, maka double stage mixer-settler dapat dilukiskan seperti pada Gambar 1.

Gambar 1. Skema arus-arus pada double-stage mixer-settler

Pada keadaan tunak, neraca massa Cu pada fasa kontinyu di stage 1 dapat dituliskan dengan Persamaan (1).

$$L_{c,0}C_{c,0} - K_c a_1 V_1 (C_{c,1}^* - C_{c,1}) - L_{c,1}C_{c,1} = 0 \quad (1)$$

Suku ke dua pada persamaan (1) menunjukkan kecepatan perpindahan massa Cu dari fasa kontinyu ke fasa dispersi, dengan menganggap lapisan filem gabungan terjadi di fasa kontinyu. Dengan menganggap $L_{c,0}$ sama dengan $L_{c,1}$, maka Persamaan (1) dapat diubah menjadi:

$$K_c a_1 = \frac{L_{c,0}(C_{c,0} - C_{c,1})}{V_1(C_{c,1}^* - C_{c,1})} \quad (2)$$

$C_{c,1}^*$ adalah konsentrasi Cu pada fasa kontinyu dalam kesetimbangan dengan konsentrasi Cu pada fasa dispersi ($C_{d,1}$). Dari hasil penelitian kesetimbangan logam Cu dalam air dengan TBP dalam kerosin dengan perbandingan volume 1:9, diperoleh hubungan sebagai berikut (Rachmawati, 2002):

$$C_{c,1}^* = 1,2247.C_{d,1} + 23,456 \quad (3)$$

Analog dengan Persamaan (2), dari neraca massa Cu di stage 2 diperoleh Persamaan (4).

$$K_c a_2 = \frac{L_{c,1}(C_{c,1} - C_{c,2})}{V_2(C_{c,2}^* - C_{c,2})} \quad (4)$$

Persamaan kesetimbangan antara $C_{c,2}^*$ dengan $C_{d,2}$ untuk Cu mengikuti Persamaan (3). Selanjutnya, $C_{d,1}$ pada Persamaan (3) dapat ditentukan dari neraca massa Cu total sebagai berikut:

$$L_{c,0}C_{c,0} + L_{d,3} - L_{c,2}C_{c,2} - L_{d,1}C_{d,1} = 0 \quad (5)$$

Karena $C_{d,0} = 0$, maka Persamaan (5) menjadi:

$$C_{d,1} = \left(\frac{L_{c,0}}{L_{d,1}} \right) C_{c,0} - \left(\frac{L_{c,2}}{L_{d,1}} \right) C_{c,2} \quad (6)$$

Neraca massa Cu pada stage 1 dan stage 2 masing-masing adalah:

$$L_{c,0}C_{c,0} + L_{d,2}C_{d,2} - L_{c,1}C_{c,1} - L_{d,1}C_{d,1} = 0 \quad (7)$$

$$L_{c,1}C_{c,1} + L_{d,3}C_{d,3} - L_{c,2}C_{c,2} - L_{d,2}C_{d,2} = 0 \quad (8)$$

Dengan Persamaan-persamaan (2), (3), (4), (5), (6), (7), dan (8) serta data percobaan, maka koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan untuk masing-masing stage dapat ditentukan. Caranya adalah dengan menebak nilai $C_{c,1}$ lalu dimasukkan ke Persamaan (8) untuk menghitung $C_{d,2}$. Dengan nilai $C_{d,2}$ ini lalu nilai $C_{c,2}^*$ dapat dihitung dengan Persamaan (3) yang dikenakan untuk stage 2. Dengan diketahuinya nilai $C_{c,2}^*$ ini, maka nilai $K_c a_2$ dapat dihitung dengan Persamaan (4). Kemudian nilai $C_{d,1}$ dihitung dari Persamaan (5) dan hasilnya digunakan untuk menghitung nilai $C_{c,1}^*$ dari Persamaan (3). Kemudian dengan nilai

tebakan $C_{c,1}$, maka nilai $K_c a_1$ dapat dihitung dari Persamaan (2). Tebakan $C_{c,1}$ sudah betul jika nilai hitung $K_c a_1$ sama dengan $K_c a_2$ dan selanjutnya disebut $K_c a$. Selanjutnya, dicari hubungan antara koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan dengan peubah-peubah yang mempengaruhinya dalam bentuk kelompok bilangan tidak berdimensi seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (9).

$$\left(\frac{K_c a d_d^2}{D_{AB}} \right) = K \left(\frac{\rho_c v_t d_d}{\mu_c} \right)^{C_1} \left(\frac{\rho_d N d_p^2}{\mu_d} \right)^{C_2} \quad (9)$$

K , C_1 , dan C_2 pada Persamaan (9) melambangkan tetapan-tetapan yang nilainya dicari dengan data percobaan. D_{AB} melambangkan difusivitas Cu dalam air, dan dicari dengan persamaan Wilke-Chang sebagai berikut (Brodkey dan Hershey, 1988).

$$D_{AB} = \frac{1,17 \times 10^{-16} (T) (\phi M_B)^{1/2}}{\mu_B V_A^{0,6}} \quad (10)$$

Diameter butir fasa dispersi (d_d) pada Persamaan (9) dihitung dengan Persamaan (11) (Tani dkk., 1998).

$$\frac{d_d}{d_p} = 0,86 We^{-0,72} \theta_d^{-0,36} \quad (11)$$

We dan θ_d masing-masing dirumuskan dengan Persamaan (12) dan Persamaan (13).

$$We = \frac{N^2 d_p^3 \rho_c}{\gamma} \quad (12)$$

$$\theta_d = \frac{\phi^L V^L}{L_c} \quad (13)$$

Kecepatan settling terminal (v_t) pada Persamaan (9) untuk $Re < 1$ dihitung dengan Persamaan (14) dan untuk $Re < 10^4$ dihitung dengan Persamaan (15).

$$v_t = \frac{d_d^2 \Delta \rho g}{18 \mu_c} \quad (14)$$

$$v_t = \left[\left((A_1^2 + A_2^2)^{0,5} - A_1 \right) / 1,1 \right]^2 \quad (15)$$

dengan A_1 , A_2 , dan Re masing-masing adalah:

$$A_1 = 4,8 \left(\frac{\mu_c}{\rho_c d_d} \right)^{0,5} \quad (16)$$

$$A_2 = 2,54 \left(\frac{\Delta \rho g d_d}{\rho_c} \right)^{0,5} \quad (17)$$

$$Re = \frac{\rho_c v_t d_d}{\mu_c} \quad (18)$$

3. Metodologi

Bahan-bahan yang digunakan pada percobaan laboratorium adalah akuades dengan berat jenis $0,9962 \text{ g/cm}^3$ dan viskositasnya $0,0088 \text{ g/cm/detik}$, larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan berat jenis $0,9965 \text{ g/cm}^3$ dan viskositasnya $0,0091 \text{ g/cm/detik}$, dan larutan TBP/kerosin dengan perbandingan 1/9. Larutan TBP/kerosin ini mempunyai berat jenis $0,8172 \text{ g/cm}^3$ dan viskositas $0,0146 \text{ g/cm/detik}$.

Rangkaian alat penelitian yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2 dan detail double-stage mixer-settlernya ditunjukkan pada Gambar 3. Kolom mixer-settler termasuk penampang dan tutup kolom serta drop coalescer dibuat dari gelas. Diameter mixer sama dengan diameter settler yaitu 13 cm. Tinggi masing-masing mixer sama dengan tinggi masing-masing settler yaitu 8 cm. Drop coalescer dipasang di tengah kolom pada pembatas bagian mixer dengan settler. Diameter drop coalescer 6 cm, tebal 1 cm, dan diameter lubangnya kurang lebih 1 mm. Pengaduk yang digunakan berbentuk cross flat blade dengan panjang dan lebar sudu masing-masing 5 cm dan 1 cm. Tinggi ruang di bawah mixer stage ke 2 juga 8 cm sedangkan tinggi ruang di bawah kasa (bagian pengambilan rafinat) adalah 5 cm.

Alat ukur yang digunakan dalam percobaan ini adalah rotameter, yang masing-masing digunakan untuk mengukur kecepatan alir fasa air dan fasa organik. Sebelum digunakan, rotameter ini dikalibrasi terlebih dahulu. Alat lain yang digunakan adalah atomic absorption spectrophotometer (AAS). Alat ini digunakan untuk mengukur kadar Cu dalam fasa air. Teknik analisis yang digunakan untuk mengukur kadar Cu dalam air dengan AAS adalah flame atomization.

Jalannya percobaan adalah sebagai berikut. Pertama-tama disiapkan larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi tertentu dalam tangki umpan fasa air/fasa kontinyu (9) sebanyak 10 L dan diukur pHnya. Disiapkan juga larutan TBP-kerosin dengan perbandingan volume TBP : volume kerosin sama dengan 1 : 9 dalam tangki umpan fasa organik (10) sebanyak 2,5 L. Larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dialirkan ke dalam mixer sampai penuh, kemudian baru dialirkan larutan TBP-kerosin disertai dengan pengadukan. Kecepatan alir kedua fasa diatur dengan rotameter (7) yang telah dikalibrasi. Fasa kontinyu dan fasa dispersi berkontak di dalam mixer lalu terpisah di bagian settler. Fasa dispersi/ekstrak lalu ditampung dari bagian atas

alat sedangkan fasa kontinyu/rafinat diambil dari bagian bawah alat. Fasa rafinat diambil sampelnya tiap 1 menit untuk ditentukan kadar Cu akhir dengan AAS. Penelitian dihentikan setelah proses berjalan selama 10 menit atau bila salah satu atau kedua umpan telah habis. Dalam penelitian ini, variabel yang dipelajari adalah kecepatan alir fasa kontinyu (L_c) dan kecepatan putaran pengaduk (N).

1. mixer-settler, 2. drop coalescer, 3. pengaduk, 4. motor pengaduk, 5. kran, 6. leveler, 7. rotameter, 8. pompa, 9. tangki umpan, 10. tangki ekstraktan, 11. tangki rafinat, 12. tangki ekstrak

Gambar 2. Rangkaian double-stage mixer-settler.

Gambar 3. Detil bagian-bagian mixer-settler

4. Hasil dan Analisis

Variasi kecepatan alir fasa kontinyu (L_c) dilakukan dengan cara mengubah-ubah tinggi float rotameter pada arus fasa kontinyu. Kecepatan alir fasa dispersi (L_d) dan kecepatan putaran pengaduk (N) dijaga tetap. Pada penelitian ini, kondisi operasinya adalah $L_d = 4,1962 \text{ cm}^3/\text{detik}$, $N = 8,3333 \text{ detik}^{-1}$, $C_{c,0} = 20,5 \text{ ppm}$, dan $C_{d,3} = 0$. Hasil percobaan ditunjukkan pada Tabel 1. Data K_{ca} dan L_c pada Tabel 1 lalu dibuat grafiknya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

**Tabel 1. Hubungan antara L_c dengan K_{ca} .
 $N = 8,3333 \text{ detik}^{-1}$, $L_d = 4,1962 \text{ cm}^3/\text{detik}$,
 $C_{c,0} = 20,5 \text{ ppm}$, $C_{d,3} = 0$.**

L_c (cm^3/detik)	$C_{c,1}$ (ppm)	$C_{d,1}$ (ppm)	$C_{c,2}$ (ppm)	$C_{d,2}$ (ppm)	$K_{ca} \times 10^5$ (detik^{-1})
4,16	14,21	11,06	9,35	4,82	6,64
8,76	15,05	9,67	10,75	4,26	13,03
13,35	15,86	8,31	12,12	3,71	18,28
17,94	16,34	7,51	12,93	3,38	23,16

Gambar 4. Hubungan antara kecepatan alir fasa kontinyu (L_c) dengan koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan (K_{ca}).

Dari Tabel 1 dan Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada kecepatan putaran pengaduk (N) dan kecepatan alir fasa dispersi (L_d) tetap, nilai koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan (K_{ca}) makin besar dengan naiknya kecepatan alir fasa kontinyu (L_c). Hal ini karena

bila kecepatan alir fasa kontinyu (L_c) makin besar, maka beda konsentrasi antar fase semakin besar sehingga perpindahan massa Cu dari fasa kontinyu ke fasa dispersi juga makin besar. Seperti diketahui bahwa driving force pada peristiwa perpindahan massa antar fasa adalah beda konsentrasi antar fasa. Jadi, naiknya kecepatan alir fasa kontinyu menyebabkan naiknya beda konsentrasi Cu antara fasa kontinyu dan fasa dispersi sehingga menyebabkan naiknya koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan (K_{ca}).

Variasi kecepatan putaran pengaduk dilakukan dengan mengubah-ubah kecepatan putaran pengaduk pada kecepatan aliran fasa kontinyu dan kecepatan aliran fasa dispersi tetap. Kondisi operasi pada variasi kecepatan putaran pengaduk adalah $L_c = 4,1634 \text{ cm}^3/\text{detik}$, $L_d = 4,1962 \text{ cm}^3/\text{detik}$, $C_{c,0} = 20,50 \text{ ppm}$, dan $C_{d,3} = 0$. Hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 5. Dari Tabel 2 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada kecepatan alir fasa kontinyu (L_c) dan fasa dispersi (L_d) yang tetap, nilai koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhannya (K_{ca}) meningkat dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk (N). Hal ini karena bila kecepatan putaran pengadukan (N) makin besar, maka turbulensi di dalam kolom mixer semakin besar sehingga luas permukaan perpindahan massanya menjadi semakin besar. Meningkatnya luas permukaan perpindahan massa per satuan volume dengan meningkatnya kecepatan putaran pengaduk pada kecepatan alir fasa kontinyu (L_c) dan fasa dispersi (L_d) yang tetap adalah karena ukuran butir fasa dispersi semakin kecil.

Tabel 2. Hubungan antara N dengan K_{ca} . $L_c = 4,1634 \text{ cm}^3/\text{detik}$, $L_d = 4,1962 \text{ cm}^3/\text{detik}$, $C_{c,0} = 20,5 \text{ ppm}$, $C_{d,3} = 0$.

N (detik^{-1})	$C_{c,1}$ (ppm)	$C_{d,1}$ (ppm)	$C_{c,2}$ (ppm)	$C_{d,2}$ (ppm)	$K_{ca} \times 10^5$ (detik^{-1})
3,33	15,33	9,20	11,23	4,07	6,03
5,00	14,94	9,86	10,56	4,34	6,26
6,67	14,56	10,49	9,93	4,59	6,46
8,33	14,21	11,06	9,352	4,82	6,64

Gambar 5. Hubungan antara kecepatan putaran pengaduk (N) dengan koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan (K_a).

Efisiensi mixer-settler dinyatakan dengan Persamaan (19).

$$E = \left(\frac{C_{c,in} - C_{c,out}}{C_{c,in}} \right) (100\%) \quad (19)$$

Gambar 6 menunjukkan perbandingan efisiensi antara single-stage mixer-settler dengan double-stage mixer-settler. Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa efisiensi double-stage mixer-settler lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi single-stage mixer-settler. Hal ini karena waktu kontak antara fasa kontinu dengan fasa dispersi pada double-stage mixer-settler lebih lama dibanding waktu kontak pada single-stage mixer-settler. Gambar 6 juga menunjukkan bahwa makin tinggi kecepatan putaran pengaduk maka makin tinggi pula efisiensinya baik untuk single-stage mixer-settler maupun untuk double-stage mixer-settler. Hal ini karena dengan makin tingginya kecepatan putaran pengaduk, maka tingkat pencampuran antara fasa kontinu dan fasa dispersi semakin baik yang ditunjukkan dengan naiknya nilai K_a seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 5.

Hubungan antara nilai koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan (K_a) dengan peubah-peubah yang mempengaruhinya dinyatakan dengan persamaan kelompok bilangan tidak berdimensi sebagai berikut.

$$\frac{K_a a_d d_d^2}{D_{AB}} = 3,32 \times 10^{-33} \left(\frac{\rho_c v_i d_d}{\mu_c} \right)^{2,04} \left(\frac{\rho_d N d_p^2}{\mu_d} \right)^{6,93}$$

dengan kesalahan relatif rerata 5,11%. Korelasi ini berlaku untuk kisaran nilai $(\rho_c v_i d_d / \mu_c)$ 0,19-0,54 dan $(\rho_d N d_p^2 / \mu_d)$ 6.716-16.792.

Gambar 6. Perbandingan efisiensi antara single-stage mixer-settler dengan double-stage mixer-settler

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan yaitu koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan (K_a) naik dengan naiknya kecepatan alir fasa kontinu (L_c). Kenaikan nilai L_c dari 4,1634 cm³/detik menjadi 17,9436 cm³/detik meningkatkan nilai K_a dari 6,6387x10⁻⁵/detik menjadi 23,1561x10⁻⁵/detik atau 248,8%.

Koefisien perpindahan massa keseluruhan volumetris (K_a) naik dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk (N). Kenaikan nilai N dari 3,3333 rps menjadi 8,3333 rps meningkatkan nilai K_a dari 6,0288x10⁻⁵/detik menjadi 6,6387x10⁻⁵/detik atau 10,1%.

Hubungan antara nilai koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan (K_a) dengan peubah-peubah yang mempengaruhinya dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\frac{K_a a_d d_d^2}{D_{AB}} = 3,32 \times 10^{-33} \left(\frac{\rho_c v_i d_d}{\mu_c} \right)^{2,04} \left(\frac{\rho_d N d_p^2}{\mu_d} \right)^{6,93}$$

dengan kesalahan relatif rerata 5,11%. Korelasi ini berlaku untuk kisaran nilai $(\rho_c v_i d_d / \mu_c)$ 0,19-0,54 dan $(\rho_d N d_p^2 / \mu_d)$ 6.716-16.792.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Depdiknas atas biaya yang diberikan melalui Hibah Bersaing X/2 tahun 2003.

Daftar Notasi

A_1, A_2	= konstanta, tidak berdimensi
a	= luas bidang kontak per satuan volume, cm^2/cm^3
C_c	= konsentrasi Cu pada fasa air/ fasa kontinyu, ppm
C_c^*	= konsentrasi Cu pada fasa kontinyu pada kesetimbangan, ppm
C_d	= konsentrasi Cu pada fasa dispersi, ppm
$C1, C2$	= tetapan pada Persamaan (9)
D_{AB}	= koefisien difusi Cu dalam air, cm^2/detik
d_d	= diameter butiran fasa dispersi, cm
d_p	= diameter pengaduk/ <i>impeller</i> , cm
E	= efisiensi <i>mixer-settler</i> , %
g	= percepatan gravitasi, cm/detik^2
K	= tetapan pada persamaan (9)
$K_c a$	= koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan, $1/\text{detik}$
L_c	= kecepatan alir fasa kontinyu, $\text{cm}^3/\text{det.}$
L_d	= kecepatan alir fasa dispersi, $\text{cm}^3/\text{det.}$
M_B	= berat molekul air, g/gmol
N	= kecepatan putaran pengaduk, rps
Re	= bilangan Reynolds, tidak berdimensi
T	= suhu, K
We	= bilangan Weber, tidak berdimensi
V	= volume kolom <i>mixer-settler</i> , cm^3
V^L	= volume di bawah <i>impeller</i> , cm^3
V_A	= volume molal Cu pada titik didih normalnya, cm^3/gmol
v_t	= kecepatan terminal, cm/detik
ρ_c	= berat jenis fasa kontinyu, g/cm^3
ρ_d	= berat jenis fasa dispersi, g/cm^3
$\Delta\rho$	= beda antara berat jenis fasa kontinyu dan fasa dispersi
μ_B	= viskositas air, $\text{g}/\text{cm}/\text{detik}$
μ_c	= viskositas fasa kontinyu, $\text{g}/\text{cm}/\text{detik}$
μ_d	= viskositas fasa dispersi, $\text{g}/\text{cm}/\text{detik}$
ϕ	= Wilke-Chang "association parameter", untuk air =2,6

ϕ^L = holdup dari fasa dispersi di bawah *impeller*, tidak berdimensi

θ_d = waktu tinggal rerata butiran fasa dispersi, detik

γ = tegangan muka larutan, dyne/cm

Indeks

0 = arus dari *stage* 0/arus umpan

1 = arus dari *stage* 1

2 = arus dari *stage* 2

3 = arus dari *stage* 3/ekstraktan masuk

in = arus masuk *mixer-settler*

out = arus keluar *mixer-settler*

Daftar Pustaka

- [1] Brodkey, R.S. and Hershey, H.C., (1988), "Transport Phenomena A Unified Approach," McGraw-Hill Book Company, New York.
- [2] Kirou, V.I., Tavlarides, L.L., Bonnet, J.C., and Tsouris, C., (1988), "Flooding Holdup and Drops Size Measurements in a Multistage Column Extractor," *AIChE J.*, 34, 283-292.
- [3] Kumar, A., Steiner, L., and Hartland, S., (1986), "Capacity and Hydrodynamics of an Agitated Extraction Column," *IEC Proc. Des. Dev.*, 25, 728-733.
- [4] Nii, S., Suzuki, J., and Takahashi, (1997), "Effect of Internal Structure on Throughput of Mixer-Settler Extraction Column," *J. Chem. Eng. Japan*, 30, 253-259.
- [5] Rachmawati, Y., (2002), "Studi Kesetimbangan Ekstraksi Cu dalam Air dengan Tri Buthyl Phosphate (TBP) dalam Kerosin", Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Kimia, FT UGM, Yogyakarta.
- [6] Takahashi, K.S., Nakashima, H., Nii, S., and Takeuchi, H., (1993), "Maximum Throughput in Multistage Mixer-Settler Extraction Column," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 19, 440-445.
- [7] Tani, K., Ohta, T., Nii, S., and Takahashi, K., (1998), "Copper Removal from Dilute Aqueous Solution by Extraction with Counter-Current Multi-Stage Column", *J. Chem. Eng. Japan*, 31, 398-406.
- [8] Treybal, R.E., (1964), "A Versatile, New Liquid Extractor," *Chem. Eng. Progr.*, 60, 77-82.