
SIMULASI UNJUK KERJA MIXER-SETTLER PADA EKSTRAKSI LOGAM BERAT DALAM LIMBAH CAIR DENGAN TRI BUTHYL PHOSPHATE

Panut Mulyono, I Made Bendiyasa, Sarto
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM
Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 902171, Fax. (0274) 879518, E-mail: ajisari@indo.net.id

Naskah diterima 26 April 2004, dinilai 4 Mei 2004, dan disetujui 10 Agustus 2004

Abstrak

Logam berat merupakan zat pencemar yang berbahaya bila zat tersebut terbuang ke lingkungan. Oleh karena itu, keberadaan logam berat di lingkungan harus dapat dicegah. Penelitian ini mempelajari unjuk kerja dengan simulasi komputer proses ekstraksi logam berat dalam limbah cair dengan mixer-settler. Dalam simulasi ini, logam berat yang dipilih adalah tembaga (Cu). Tri buthyl phosphate (TBP) digunakan sebagai zat pengekstrak logam Cu tersebut. Dalam simulasi ini diturunkan persamaan-persamaan matematis dari neraca massa. Persamaan koefisien perpindahan massa volumetris keseluruhan yang digunakan dalam simulasi ini, diperoleh dari penelitian sebelumnya untuk ekstraksi logam Cu dalam air dengan TBP dalam kerosin. Dimensi alat, kecepatan volumetris larutan, dan sifat-sifat fisis larutan yang digunakan dalam simulasi ini disesuaikan dengan dimensi alat, kecepatan volumetrik larutan, dan sifat-sifat fisis larutan yang digunakan pada saat percobaan laboratorium, kecuali /parameter yang disimulasikan untuk divariasikan. Parameter yang dipelajari untuk diubah adalah kecepatan putaran pengaduk, kecepatan alir fasa kontinyu, dan diameter impeler pengaduk. Unjuk kerja alat didefinisikan sebagai selisih antara kadar Cu pada umpan dengan kadar Cu pada fasa rafinat keluar settler dibagi dengan kadar Cu pada umpan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa unjuk kerja mixer-settler naik dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk, turun dengan naiknya kecepatan alir fasa kontinyu, dan naik dengan naiknya diameter impeler pengaduk, dimana masing-masing diteliti pada parameter lain yang dijaga tetap.

Kata Kunci: Ekstraksi, Logam Berat, Unjuk Kerja Mixer-settler.

Abstract

Heavy metal is a dangerous pollutant if they are discharged to the environment through waste water. To protect the environment from a heavy metal pollution, it present in the waste water must be prevented. A computer simulation to investigate the performance of extraction of copper (Cu) in aqueous solution using tri buthyl phosphate (TBP) in a mixer-settler has been carried out. In this simulation, some equations have been formulated from the mass balance. The overall volumetric coefficient of mass transfer of Cu/water-TBP/kerosene system used in this simulation was calculated using an equation developed in the previous research. The dimension of mixer-settler, volumetric flow rate of the solutions, and the physical properties of the solutions used in this simulation were the same as used in the laboratory experiment, except the parameter which was simulated to be varied. The parameters varied in this simulation were stirring speed, volumetric flow rate of the aqueous solution, and the impeller diameter. The performance of the system is expressed by the difference between Cu concentration in the feed solution and its concentration in the raffinate phase out of the settler divided by the Cu concentration in the feed solution. The performance of the system increases by increasing the stirring speed, decreases by increasing the volumetric flow rate of the aqueous solution, and increases by increasing the impeller diameter.

Key Words: Extraction, Heavy Metal, Mixer-settler Performance.

1. Pendahuluan

Logam berat didefinisikan sebagai logam-logam yang mempunyai berat atom lebih besar dari 23 (berat atom natrium). Oleh karena itu, limbah cair industri banyak yang mengandung logam berat. Logam-logam seperti As, CN, Cr, Cd, Cu, F, Hg, Pb, dan Zn merupakan logam-logam yang berbahaya bagi lingkungan. Pada kadar tertentu logam-logam tersebut dapat mematikan plankton dan ikan, meracuni ternak, serta dapat terakumulasi pada ikan, kerang dan daging hewan ternak yang tentunya bila ikan atau daging tersebut dikonsumsi manusia akan berpengaruh jelek bagi kesehatannya. Sumber utama logam-logam tersebut berasal dari industri pelapisan logam, penambangan fosfat dan bauksit, pembuatan gas klor, pembuatan baterai, dan industri penyamakan kulit. Karena logam-logam tersebut berbahaya bagi lingkungan, maka limbah cair dari industri yang mengandung logam-logam berbahaya itu tidak boleh dibuang langsung ke lingkungan. Logam berat dalam larutan yang encer sulit untuk dipungut atau dibersihkan, oleh karena itu diperlukan suatu teknik pemisahan dengan efisiensi yang tinggi.

Pemisahan atau pemungutan logam berat dari limbah cair industri dapat dilakukan dengan cara ekstraksi menggunakan pelarut. Ekstraksi dapat dilakukan baik secara *batch* maupun *continue*, satu tingkat maupun multi tingkat. Ekstraksi multi tingkat dengan aliran berlawanan arah dapat digunakan secara efektif untuk memungut logam 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 neraca tekanan 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). Untuk memperkirakan secara akurat variabel-variabel tersebut cukup sulit, sehingga penentuan koefisien perpindahan massa pada kolom ekstraksi pun sulit dilakukan. 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.

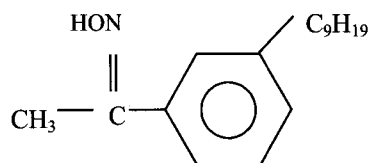
Berdasarkan hasil penelitian ekstraksi logam Cu dengan TBP dalam *single stage mixer-settler* yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Mulyono dkk., 2002), dibuat suatu formulasi matematis untuk memprediksi unjuk kerja *mixer-settler* tersebut bila dilakukan perubahan pada parameter tertentu dengan mempertahankan parameter lainnya tetap. Parameter yang dipelajari untuk diubah adalah kecepatan putaran pengaduk, kecepatan alir fasa kontinyu, dan diameter impeler. Makalah ini menyajikan hasil-hasil simulasi tersebut.

2. Fundamental

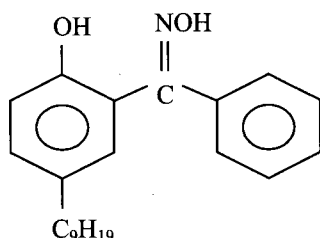
Ekstraksi Logam Berat dalam Limbah Cair

Pemisahan atau pemungutan logam berat dari limbah cair industri dapat dilakukan dengan cara ekstraksi menggunakan pelarut organik. Pelarut organik yang bisa digunakan untuk mengekstrak logam berat antara lain adalah TBP (Rachmawati, 2002), *2-hydroxy-5-nonylacetophenone oxime* dengan nama perdagangan LIX 84-I (Komasawa dkk., 1980), dan *2-hydroxy-5-nonylbenzoophenone oxime* dengan nama perdagangan LIX 65-N (Nakashio, 1993). Struktur kimia LIX 84-I dan LIX 65-N masing-masing ditunjukkan pada gambar 1 (a dan b).

a) LIX 84



b) LIX 65-N



Gambar 1. Struktur Kimia LIX 84 I dan LIX65-n

Dalam prakteknya, pelarut organik ini dilarutkan dalam *diluent* (zat pengencer). Zat pengencer yang biasa digunakan adalah petroleum eter, *normal heksane*, atau kerosin. Pada proses ekstraksi ini, pada prinsipnya terjadi perpindahan massa logam berat dari fasa air ke fasa organik. Logam berat yang telah berpindah ke fasa organik, lalu bereaksi dengan pelarut organik tersebut untuk membentuk kompleks. Proses ekstraksi logam berat dari limbah cair dengan pelarut organik secara sinambung dapat dilakukan dengan *single stage mixer-settler*. Pada penelitian ini, dilakukan simulasi komputer untuk memprediksi unjuk kerja *mixer-settler* pada ekstraksi logam berat dalam limbah cair dengan pelarut organik. Dalam simulasi ini, logam berat yang digunakan adalah Cu dan pelarut organik yang dipilih adalah TBP yang dilarutkan dalam kerosin. Limbah tiruan dibuat dengan cara melarutkan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dalam akuades.

Formulasi Matematika. *Single Stage Mixer-settler*

Unjuk kerja (η) *single stage mixer-settler* yang dinyatakan dalam % didefinisikan sebagai selisih antara kadar Cu pada umpan dengan kadar Cu pada fasa *rafinat* (fasa air) keluar *settler* dibagi dengan kadar Cu pada umpan dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \left(\frac{C_{c,in} - C_{c,out}}{C_{c,in}} \right) (100\%) \quad (1)$$

Pada operasi *mixer-settler*, $C_{c,in}$ diketahui, sehingga dapat diformulasikan suatu persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung $C_{c,out}$ sebagai fungsi dari parameter yang ada, yaitu kecepatan putaran pengaduk, kecepatan aliran fasa kontinyu, dan diameter pengaduk. Untuk memformulasikan persamaan tersebut, maka dilakukan analisis perpindahan massa pada *mixer-settler*.

Pada analisis perpindahan massa pada *mixer-settler*, 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 arus-arus pada *single stage mixer-settler* dapat dilukiskan seperti pada gambar 2 (Mulyono dkk., 2002).

Pada keadaan tunak, neraca massa Cu pada fasa kontinyu dapat dituliskan sebagai berikut:

$$L_c C_{c,in} K_a V (C_c^* - C_{c,out}) - L_c C_{c,out} = 0 \quad (2)$$

Suku kedua pada persamaan (2) menunjukkan kecepatan perpindahan massa Cu dari fasa kontinyu ke fasa dispersi, dengan menganggap lapisan film gabungan terjadi di fasa kontinyu. Persamaan (2) lalu dapat diubah menjadi

$$K_a = \frac{L_c}{V} \left(\frac{C_{c,in} - C_{c,out}}{C_c^* - C_{c,out}} \right) \quad (3)$$

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

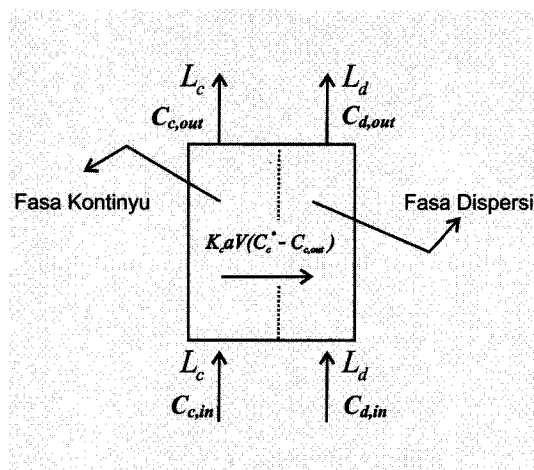
$$C_c^* = 1,2247 C_{d,out} + 23,456 \quad (4)$$

Selanjutnya, $C_{d,out}$ pada persamaan (4) dapat ditentukan dari neraca massa Cu total sebagai berikut:

$$L_c C_{c,in} + L_d C_{d,in} - L_c C_{c,out} - L_d C_{d,out} = 0 \quad (5)$$

Persamaan (5) dapat diubah menjadi:

$$C_{d,out} = C_{d,in} - \frac{L_c}{L_d} (C_{c,in} - C_{c,out}) \quad (6)$$



Gambar 2. Skema Arus- arus pada *single-stage Mixer- Settler*

Dari hasil penelitian ekstraksi Cu dalam air dengan TBP dalam kerosin, hubungan antara koefisien perpindahan massa keseluruhan volumetris dengan parameter yang mempengaruhinya dalam bentuk kelompok bilangan tidak berdimensi disajikan pada persamaan (7) (Mulyono dkk., 2002).

$$\left(\frac{K_c a D_i^2}{D_{AB}} \right) = 3,14 \times 10^{-11} \left(\frac{L_c \rho_c}{\mu_c D_i} \right)^{0,61} \left(\frac{\rho_d D_i^2 N}{\mu_d} \right)^{1,38} \quad (7)$$

Substitusi $C_{d,out}$ pada persamaan (6) ke persamaan (4) diperoleh:

$$C_c^* = 1,2247 C_{d,in} - \frac{L_c}{L_d} (C_{c,in} - C_{c,out}) + 23,456 \quad (8)$$

Kemudian substitusi persamaan (8) ke persamaan (3) diperoleh persamaan (9) berikut :

$$K_c a = \frac{L_c (C_{c,in} - C_{c,out})}{V \left\{ \left[1,2247 \left[C_{d,in} - \frac{L_c}{L_d} (C_{c,in} - C_{c,out}) \right] + 23,456 \right] - C_{c,out} \right\}} \quad (9)$$

Atau

$$K_c a = \frac{L_c (C_{c,in} - C_{c,out})}{V (23,456 + \alpha - \beta)} \quad (10)$$

Dengan α Dan β pada persamaan (10) masing-masing adalah:

$$\alpha = 1,2247 \left(C_{d,in} - \frac{L_c}{L_d} C_{c,in} \right) \quad (11)$$

$$\beta = \left(1 + 1,2247 \frac{L_c}{L_d} \right) C_{c,out} \quad (12)$$

Jika persamaan (10) digabungkan dengan persamaan (7) maka diperoleh persamaan (13) sebagai berikut:

$$\left\{ \frac{L_c (C_{c,in} - C_{c,out}) D_i^2}{V (23,456 + \alpha - \beta) D_{AB}} \right\} = 3,14 \times 10^{-11} \left(\frac{L_c \rho_c}{\mu_c D_i} \right)^{0,61} \left(\frac{\rho_d D_i^2 N}{\mu_d} \right)^{1,38} \quad (13)$$

Persamaan (13) mengandung semua peubah yang ada pada operasi ekstraksi dengan *single stage mixer-settler*. Bila parameter lainnya tertentu, maka $C_{c,out}$ dapat dihitung dengan cara *trial and error*. Pada simulasi ini, peubah-peubah yang nilainya divariasikan adalah N , L_c , dan D_i . Pada nilai-nilai tertentu dari parameter tersebut, nilai $C_{c,out}$ dicari dengan cara *trial and error*. Dari nilai $C_{c,in}$ yang diketahui dan nilai $C_{c,out}$ terhitung dari simulasi, maka unjuk kerja *mixer-settler* dapat dihitung dengan persamaan (1).

3. Metodologi

Percobaan Laboratorium

Untuk memberi gambaran yang jelas tentang proses ekstraksi logam Cu dalam air dengan TBP dalam kerosin menggunakan *single stage mixer-settler*, maka pada makalah ini perlu disajikan percobaan laboratorium yang telah dilakukan sebelumnya (Mulyono dkk., 2002).

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada percobaan laboratorium adalah akuades dengan berat jenis 0,9962 g/cm³ dan viskositasnya 0,0088 g/cm/detik, larutan CuSO₄·5H₂O dengan berat jenis 0,9965 g/cm³ dan viskositasnya 0,0091 g/cm/detik, dan larutan TBP/kerosin dengan perbandingan 1/9. Larutan TBP/kerosin ini mempunyai berat jenis 0,8172 g/cm³ dan viskositas 0,0146 g/cm/detik.

Alat

Susunan alat percobaan yang digunakan dalam percobaan laboratorium ditunjukkan pada gambar 3. Kolom *mixer-settler* yang digunakan, termasuk penampang dan tutup kolom serta *drop coalescer*nya dibuat dari akrilik. Diameter *mixer* sama dengan diameter *settler* yaitu 12 cm. Tinggi *mixer* 7,3 cm sedangkan tinggi *settler* 4,7 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 4 cm dan 8 mm.

Alat Ukur

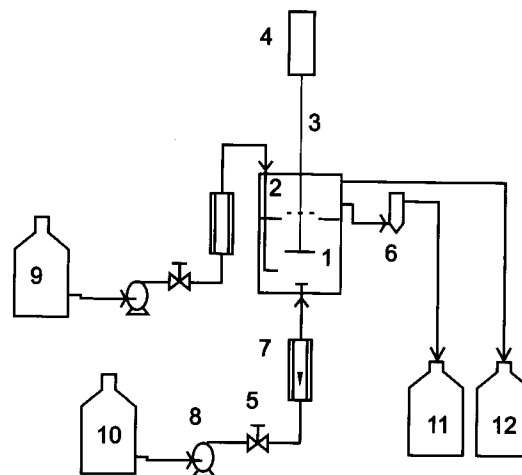
Alat ukur yang digunakan dalam percobaan ini adalah rotameter, yang masing-masing digunakan untuk mengukur kecepatan volumetrik fasa air dan fasa organik. Sebelum digunakan, rotameter ini dikalibrasi terlebih dahulu. Alat lain yang digunakan adalah *atomic absorption spectrophotometer* (AAS). Alat ini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

Teknik Percobaan

Percobaan diawali dengan menyiapkan larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi tertentu dalam tangki umpan fasa anorganik (9) sebanyak 10 L dan diukur pH-nya. Disiapkan juga larutan TBP kerosin dengan perbandingan volume TBP: 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* (1) sampai penuh, kemudian baru dialirkan larutan TBP kerosin disertai dengan pengadukan. Kecepatan alir kedua fasa diatur dengan rotameter (7) yang telah dikalibrasi. Aliran kedua fasa yang telah melewati *mixer* dipisahkan dalam *settler* (2) sehingga terjadi dua lapisan yaitu fasa ekstrak dan fasa *rafinat*. Fasa *rafinat* diambil sampelnya kurang lebih tiap 1 menit dan ditentukan kadar Cu akhir dengan *atomic absorption spectrophotometer* (AAS). Penelitian dihentikan setelah tercapai keadaan tunak (kurang lebih 10 menit). Pelaksanaan penelitian berikutnya dilakukan dengan cara yang sama, dengan dilakukan variasi terhadap dua parameter, yaitu kecepatan putaran pengaduk (N) dan kecepatan alir fasa anorganik (L_c).

Berdasarkan pada hasil penelitian di atas, lalu dibuat formulasi matematis untuk memprediksi unjuk kerja *mixer-settler* tersebut bila dilakukan perubahan-perubahan pada

parameter yang ada. Misalnya perubahan pada N dan L_c pada batas-batas ekstrimnya yang tidak mungkin untuk dilakukan dengan percobaan laboratorium. Pada simulasi ini juga dicoba perubahan unjuk kerja *mixer-settler* dengan berubahnya diameter pengaduk (D_i).



- | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Kolom <i>mixer-settler</i> | 7. Rotameter |
| 2. <i>Drop coalescer</i> | 8. Pompa |
| 3. Pengaduk | 9. Tangki umpan fasa anorganik |
| 4. Motor pengaduk | 10. Tangki umpan fasa organik |
| 5. Kran pengatur aliran | 11. Tangki penampung <i>rafinat</i> |
| 6. <i>Leveler</i> | 12. Tangki penampung ekstrak |

Gambar 3. Rangkaian Alat Penelitian Ekstraksi Logam Cu dengan Tbp.

Cara Simulasi

Pada simulasi ini, dicari unjuk kerja *single stage mixer-settler* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 dengan dimensi alat seperti yang diterangkan pada sub topik alat. Pada prinsipnya, untuk operasi *mixer-settler* secara kontinu dengan kondisi tertentu, menghasilkan nilai $C_{c,out}$ tertentu untuk nilai $C_{c,in}$ yang diketahui. Nilai $C_{c,out}$ untuk kondisi tertentu dihitung dengan persamaan (13). Nilai $C_{c,out}$ akan berubah jika dilakukan perubahan pada salah satu parameter yang ada pada persamaan (13) dengan mempertahankan peubah lainnya tetap. Pada simulasi ini, parameter yang nilainya diubah atau divariasikan adalah N , L_c , dan D_i . Setelah nilai $C_{c,out}$ terhitung dari persamaan (13), lalu unjuk kerja (η) *mixer-settler* dihitung dengan persamaan (1).

3. Hasil dan Pembahasan Percobaan Laboratorium

Percobaan laboratorium menghasilkan koefisien perpindahan massa keseluruhan

volumetrik sebagai fungsi dari parameter yang mempengaruhinya. Persamaan tersebut disajikan dalam bentuk persamaan bilangan tidak berdimensi yang ditunjukkan pada persamaan (7) di atas. Persamaan (7) menunjukkan bahwa koefisien perpindahan massa keseluruhan volumetrik naik dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk maupun naiknya kecepatan volumetrik fasa kontinyu, namun pengaruh kenaikan kecepatan putaran pengaduk terhadap kenaikan koefisien perpindahan massa keseluruhan volumetrik lebih besar dari pada pengaruh kenaikan kecepatan alir fasa kontinyu terhadap kenaikan koefisien perpindahan massa keseluruhan volumetrik. Hal ini karena kenaikan kecepatan putaran pengaduk mempunyai efek pada kenaikan turbulensi cairan dalam *mixer* yang lebih besar dibandingkan dengan efek kenaikan kecepatan alir fasa kontinyu terhadap kenaikan turbulensi cairan di dalam *mixer*.

Simulasi Unjuk Kerja

Pengaruh Perubahan Kecepatan Putaran Pengaduk (N) terhadap Unjuk Kerja (η)

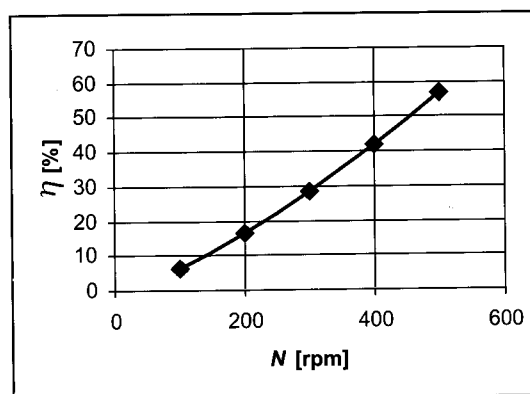
Parameter dan sifat-sifat fisis yang nilainya tetap adalah $C_{c,in} = 6,11 \times 10^{-5}$ grek/L, $C_{d,in} = 0$, $L_c = 4,03$ cm³/detik, $L_d = 3,90$ cm³/detik, $D_i = 4$ cm, $V = 825,61$ cm³, $c = 0,9965$ g/cm³, $d = 0,8172$ g/cm³, $c = 0,0091$ g/cm/detik, $d = 0,0146$ g/cm/detik, dan $D_{AB} = 1,02 \times 10^{-3}$ cm²/detik. Dengan memasukkan nilai-nilai di atas pada persamaan (13) diperoleh persamaan hubungan antara $C_{c,out}$ dengan N sebagai berikut:

$$C_{c,out} = -1,8 \times 10^{-7} N^2 - 2,86 \times 10^{-6} N + 6,25 \times 10^{-5} \quad (14)$$

Untuk nilai N tertentu, maka nilai $C_{c,out}$ dapat dihitung. Setelah nilai $C_{c,out}$ terhitung dari persamaan (14), lalu nilai η dihitung dengan persamaan (1). Hasil perhitungan nilai $C_{c,out}$ dan nilai η untuk variasi N ditunjukkan pada tabel 1. Dari data pada tabel 1 lalu dibuat grafik hubungan antara N dengan η seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Nilai $C_{c,out}$ dan Nilai η untuk Variasi N pada $C_{c,in} = 6,11 \times 10^{-5}$ Grek/L.

No.	N (rpm)	$C_{c,out}$ (grek/L)	η (%)
1	100	$5,72 \times 10^{-5}$	6,29
2	200	$5,10 \times 10^{-5}$	16,55
3	300	$4,37 \times 10^{-5}$	28,45
4	400	$3,54 \times 10^{-5}$	41,91
5	500	$2,62 \times 10^{-5}$	57,16



Gambar 4. Nilai η sebagai Fungsi dari N .

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa kadar Cu pada fasa *rafinat* keluar *settler* ($C_{c,out}$) makin kecil dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk untuk kadar Cu pada umpan yang tetap. Hal ini karena dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk, maka turbulensi di dalam *mixer* menjadi lebih baik. Dengan naiknya turbulensi di dalam *mixer*, maka luas bidang kontak per satuan volume antara fasa kontinyu dan fasa dispersi meningkat. Dengan demikian, maka makin banyak jumlah Cu yang dapat diekstrak dari fasa Cu/air ke fasa TBP/kerosin (fasa ekstrak). Dari tabel 1 dan gambar 4 dapat dilihat bahwa kenaikan η sebagai fungsi dari kenaikan N tidak linier.

Pengaruh Perubahan Kecepatan Alir Fasa Kontinyu (L_c) terhadap Unjuk Kerja (η)

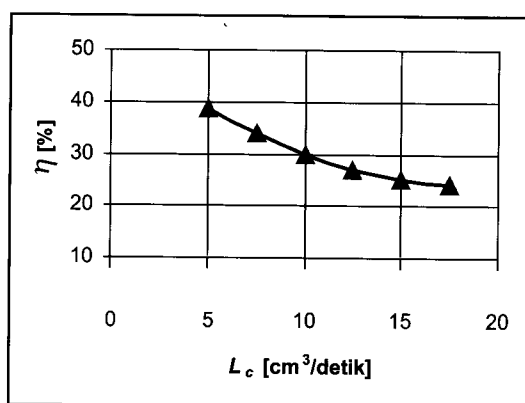
Parameter yang nilainya tetap adalah $C_{c,in} = 8,21 \times 10^{-5}$ grek/L dan $N = 500$ rpm. Nilai-nilai $C_{d,in}$, L_d , D_p , V dan sifat-sifat fisis larutan sama dengan nilai-nilai yang ditunjukkan pada simulasi pengaruh perubahan N terhadap η . Jika nilai-nilai ini dimasukkan pada persamaan (13) maka diperoleh persamaan hubungan antara $C_{c,out}$ dan L_c seperti yang ditunjukkan pada persamaan (15).

$$C_{c,out} = -6,52 \times 10^{-8} L_c^2 + 2,42 \times 10^{-6} L_c + 3,98 \times 10^{-5} \quad (15)$$

Untuk nilai L_c tertentu, maka nilai $C_{c,out}$ dapat dihitung. Setelah nilai $C_{c,out}$ terhitung dari persamaan (15), lalu nilai η dihitung dengan persamaan (1). Hasil perhitungan nilai $C_{c,out}$ dan nilai η untuk berbagai nilai L_c ditunjukkan pada tabel 2. Dari data pada tabel 2 lalu dibuat grafik hubungan antara L_c dengan η seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai $C_{c,out}$ dan Nilai η untuk Variasi L_c pada $C_{c,in} = 8,21 \times 10^{-5}$ Grek/L.

No.	L_c (cm ³ /detik)	$C_{c,out}$ (grek/L)	η (%)
1	5,00	$5,03 \times 10^{-5}$	38,75
2	7,50	$5,43 \times 10^{-5}$	33,86
3	10,00	$5,75 \times 10^{-5}$	29,96
4	12,50	$5,99 \times 10^{-5}$	27,06
5	15,00	$6,14 \times 10^{-5}$	25,15
6	17,50	$6,22 \times 10^{-5}$	24,24



Gambar 5. Nilai η sebagai Fungsi dari L_c .

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa kadar Cu pada fasa *rafinat* ($C_{c,out}$) makin besar dengan naiknya kecepatan alir fasa kontinyu (L_c) untuk kadar Cu pada umpan yang tetap. Hal ini karena dengan naiknya kecepatan alir fasa kontinyu, maka waktu tinggal larutan di dalam *mixer* menjadi lebih pendek yang mengakibatkan waktu kontak antara fasa kontinyu dan fasa dispersi menjadi lebih singkat. Akibatnya jumlah Cu pada fasa Cu/air yang dapat diekstrak ke fasa TBP/kerosin menjadi lebih kecil dengan naiknya L_c . Dengan demikian mengakibatkan turunnya unjuk kerja *mixer-settler* atau nilai η dengan naiknya L_c seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 dan gambar 5.

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa pada kenaikan L_c dari 5 sampai 12 cm³/detik menunjukkan penurunan η yang mendekati linier. Kemudian kenaikan L_c dari 12 cm³/detik ke nilai yang lebih besar tidak begitu menurunkan nilai η .

Pengaruh Perubahan Diameter Impeler (D_i) terhadap Unjuk Kerja (η)

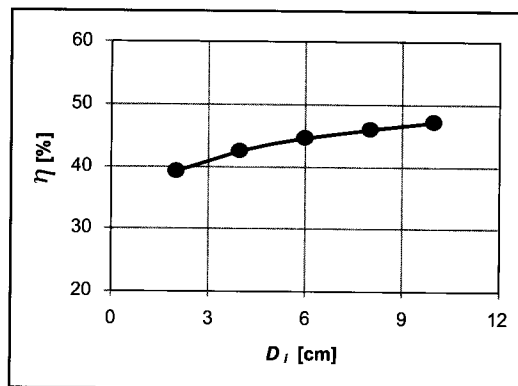
Di sini digunakan nilai $C_{c,in} = 8,21 \times 10^{-5}$ grek/L, $L_c = 4,02$ cm³/detik, dan $N = 500$ rpm. Peubah-peubah $C_{d,in}$, L_d , V dan sifat-sifat fisis larutan sama dengan yang ditunjukkan pada pengaruh perubahan L_c terhadap η . Jika nilai-nilai tersebut disubstitusikan ke persamaan (13) maka diperoleh persamaan hubungan antara $C_{c,out}$ dengan D_i sebagai berikut:

$$C_{c,out} = -4,07 \times 10^{-6} \ln D_i + 5,28 \times 10^{-5} \quad (16)$$

Dari persamaan (16) dapat ditentukan perubahan nilai $C_{c,out}$ dengan berubahnya nilai D_i . Nilai η $C_{c,out}$ terhitung dari persamaan (16) lalu disubstitusikan ke persamaan (1) untuk menghitung nilai η . Hasil perhitungan nilai $C_{c,out}$ dan nilai η sebagai fungsi dari perubahan nilai D_i ditunjukkan pada tabel 3. Dari data pada tabel 3 lalu dibuat grafik hubungan antara D_i dengan η seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Nilai $C_{c,out}$ dan Nilai η untuk Variasi D_i pada $C_{c,in} = 8,21 \times 10^{-5}$ grek/L.

No.	D_i (cm)	$C_{c,out}$ (grek/L)	η (%)
1	2	$5,00 \times 10^{-5}$	39,10
2	4	$4,72 \times 10^{-5}$	42,54
3	6	$4,55 \times 10^{-5}$	44,56
4	8	$4,43 \times 10^{-5}$	45,99
5	10	$4,34 \times 10^{-5}$	47,09



Gambar 6. Nilai η sebagai fungsi dari D_i .

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa kadar Cu pada fasa *rafinat* ($C_{c,out}$) makin kecil dengan bertambah panjangnya diameter impeler pengaduk yang digunakan (D_i). Hal ini karena, Dengan bertambah panjangnya diameter *impeller* pengaduk yang digunakan, maka turbulensi di dalam *mixer* menjadi lebih baik pada kecepatan alir fasa kontinyu dan fasa dispersi yang

Tetap. Semakin meningkatnya turbulensi berarti pencampuran antara fasa kontinyu dan fasa dispersi makin baik. Pencampuran yang makin baik menghasilkan luas bidang kontak per satuan volume antara fasa kontinyu dan fasa dispersi menjadi makin besar, sehingga makin banyak jumlah Cu yang dapat diekstrak dari fasa Cu/air ke fasa TBP/kerosin. Makin kecilnya nilai $C_{c,out}$, maka memperbesar unjuk kerja *mixer-settler* atau nilai seperti yang ditunjukkan pada tabel 3 dan gambar 6. Gambar 6 menunjukkan bahwa kenaikan diameter impeler pengaduk tidak begitu berpengaruh η terhadap kenaikan unjuk kerja *mixer-settler*.

5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi unjuk kerja *mixer-settler* untuk pengambilan logam Cu dalam air dengan TBP dalam kerosin, dapat ditarik kesimpulan bahwa pada konsentrasi Cu umpan yang tetap, unjuk kerja *mixer-settler* naik dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk. Kenaikan kecepatan putaran pengaduk dari 100 rpm menjadi 500 rpm meningkatkan unjuk kerja *mixer-settler* dari 6,29% menjadi 57,16%. Selain itu, pada konsentrasi Cu umpan yang juga tetap, unjuk kerja *mixer-settler* naik dengan naiknya diameter *impeller* pengaduk. Kenaikan diameter *impeller* pengaduk dari 2 cm menjadi 10 cm meningkatkan unjuk kerja *mixer-settler* dari 39,10% menjadi 47,09%. Namun penurunan unjuk kerja *mixer-settler* terjadi dengan naiknya kecepatan volumetrik fasa kontinyu pada konsentrasi Cu yang masih tetap. Kenaikan kecepatan volumetrik fasa kontinyu dari 5 cm³/detik menjadi 17,5 cm³/detik menurunkan unjuk kerja *mixer-settler* dari 38,75% menjadi 24,24%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian UGM untuk segala bantuannya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Depdiknas atas biaya yang diberikan melalui Hibah Bersaing X/1 tahun 2002. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Sdri B. Berta G., ST atas bantuannya dalam penelitian ini.

Daftar Notasi

- a = luas bidang kontak per satuan volume, cm²/cm³
 $C_{c,in}$ = konsentrasi Cu pada fasa kontinyu masuk *mixer-settler*, grek/L
 $C_{c,out}$ = konsentrasi Cu pada fasa kontinyu keluar *mixer-settler*, grek/L

- C_c^* = konsentrasi Cu pada fasa kontinyu pada keadaan setimbang, grek/L
 $C_{d,in}$ = konsentrasi Cu pada fasa dispersi masuk *mixer-settler*, grek/L
 $C_{d,out}$ = konsentrasi Cu pada fasa dispersi keluar *mixer-settler*, grek/L
 D_i = diameter impeler, cm
 D_{AB} = koefisien difusi Cu dalam air, cm²/detik
 K_c = koefisien perpindahan massa keseluruhan fasa kontinyu, cm/detik
 $K_{c,a}$ = koefisien perpindahan massa keseluruhan volumetris fasa kontinyu, l/detik
 L_c = kecepatan volumetrik fasa kontinyu, cm³/detik
 L_d = kecepatan volumetrik fasa dispersi, m³/detik
 N = putaran pengaduk, putaran per menit, rpm
 V = volume *mixer*, cm³
 μ_c = viskositas fasa kontinyu, g/cm/detik
 μ = viskositas air, g/cm/detik
 μ_d = viskositas fasa dispersi, g/cm/detik
 ρ_c = berat jenis fasa kontinyu, g/cm³
 ρ_d = berat jenis fasa dispersi, g/cm³
 η = unjuk kerja *mixer-settler*, %

Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] Komasaawa, I., Otake, T., and Yamada, A., (1980), "Equilibrium Studies of Copper Extraction from Sulphat Media with Hidroxyoxyme Extractant," *J. Chem. Eng. Japan*, 13(2), 130-136.
- [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] Mulyono, P., Bendiyasa, I.M, dan Sarto, (2002), "Ekstraksi Logam Berat dalam Air dengan TBP dalam Kolom *Mixer-Settler*", *Forum Teknik*, 26 (3), 214-225.
- [5] Nakashio, F., (1993), "Recent Advanced in Separation of Metals by Liquid Surfactant Membranes," *J. Chem. Eng. Japan*, 26(2), 123-133.
- [6] 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.

- [7] Rachmawati, Y., (2002), "*Studi Keseimbangan Ekstraksi Cu dalam Air dengan Tri Buthyl Phosphate (TBP) dalam Kerosin*", Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Kimia, FT UGM, Yogyakarta.
- [8] 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.
- [9] Treybal, R.E., (1964), "A Versatile, New Liquid Extractor," *Chem. Eng. Progr.*, 60, 77-82.