

ABSTRAK

Optimasi Transpor Cu(II) dalam Membran Kloroform dengan APDC Sebagai Zat Pembawa Melalui Teknik Membran Cair Fasa Ruah

Maria Simarmata

Laboratorium Elektro Fotokimia, Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Andalas,
Padang

ABSTRAK

Transpor Cu(II) $3,15 \times 10^{-4}$ M dengan zat pembawa amonium pirolidin ditiokarbamat (APDC) dapat dilakukan melalui teknik membran cair fasa ruah yang terdiri dari 6 mL larutan Cu(II) yang mengandung APDC sebagai fasa sumber, 12 mL larutan HNO₃ sebagai fasa penerima, dan 30 mL fasa membran kloroform. Persentase transpor Cu(II) ditentukan dari persentase Cu(II) yang tertranspor ke fasa penerima dan yang tersisa di fasa sumber dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom pada λ_{maks} 324,7 nm. Teknis operasi percobaan dibantu dengan pengadukan magnetik stirer pada kecepatan 300 rpm. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kondisi optimum transpor Cu(II) yaitu pada pH 4 dan perbandingan konsentrasi Cu(II) dengan APDC 1:30 untuk fasa sumber, konsentrasi HNO₃ 4 M untuk fasa penerima, dan lama pengadukan 2 jam. Pada kondisi ini, Cu(II) yang ditranspor ke fasa penerima 97,06 % sedangkan tersisa di fasa sumber tidak terdeteksi.

PENDAHULUAN

Proses pemisahan ion logam dari campuran dengan menggunakan membran cair telah banyak dipublikasikan. Membran cair merupakan pilihan handal yang dapat digunakan untuk pemisahan spesi kimia tertentu karena bersifat selektif

permiabel dengan cara memanfaatkan pelarut organik ataupun anorganik tertentu yang berfungsi sebagai lintasan transpor dari komponen kimia yang akan dipisahkan¹⁰.

Pada penelitian ini membran cair dikembangkan ke dalam teknik membran

cair fasa ruah untuk sistem pemisahan dimana teknik ini mempunyai beberapa keuntungan, antara lain cara pembuatan yang mudah dan praktis bahkan lebih mudah bila dibandingkan dengan teknik emulsi membran cair. Selain itu membran dapat didaur ulang serta proses ekstraksi dan ekstraksi balik (stripping) dari spesi kimia tertentu berlangsung dalam satu tahap secara kontinu sehingga memungkinkan sistem proses ekstraksi dengan teknik membran cair fasa ruah ini lebih praktis dibandingkan dengan teknik ekstraksi pelarut yang dilakukan secara berulang-ulang¹¹.

Pemilihan Cu(II) sebagai fasa sumber pada penelitian ini karena Cu(II) merupakan salah satu logam yang dapat membentuk kompleks dengan APDC dan Cu(II) merupakan salah satu logam berat yang terdapat bersama-sama logam berat lainnya di dalam limbah – limbah industri. Sebelumnya pemisahan Cu(II) telah pernah dilakukan dengan oksin sebagai zat pembawa melalui membran cair fasa ruah” tetapi belum ada yang melakukan transpor Cu(II) dengan APDC sebagai zat pembawa¹². Zat pembawa berfungsi sebagai ligan yang mampu menarik ion-ion logam yang diinginkan di fasa tertentu dan mengantarkannya ke fasa lain berdasarkan perbedaan kelarutan kompleksnya pada antar muka fasa sumber dan fasa membran.

Langkah awal dari pemilihan APDC sebagai zat pembawa adalah senyawa ini dapat berinteraksi membentuk kompleks dengan Cu(II) di dalam fasa sumber. Di samping itu ligan APDC sebagai pengompleks mempunyai kemampuan yang tinggi dalam berinteraksi dengan sejumlah besar ion logam pada konsentrasi rendah secara serentak¹⁸. Penelitian ini merupakan penelitian pendahuluan untuk menentukan spesifikasi ekstraksi Cu(II) dengan APDC sebagai pengompleks melalui kondisi optimum sistem transpor Cu(II) antarfasa menggunakan teknik membran cair fasa ruah.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan spesifikasi kondisi optimum untuk ekstraksi Cu(II) oleh APDC dengan mentranspornya antarfasa melalui teknik membran cair fasa ruah. Pada penelitian ini sebagai membran dipakai larutan kloroform dan sebagai fasa penerima digunakan asam kuat, yaitu asam sulfat (H_2SO_4), asam nitrat (HNO_3), dan asam klorida (HCl) dengan konsentrasi 1 M.. Pengamatan dilakukan terhadap perubahan jumlah Cu(II) yang tertranspor ke fasa penerima dan yang tersisa dalam fasa sumber yang diukur dengan spektrofotometer serapan atom.

METODA PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain: garam $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, CHCl_3 , APDC, HCl 1 M dan 0,01 M, HNO_3 1 M, H_2SO_4 1 M dan 0,1 M, larutan buffer asetat, dan akuades.

Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah spektrofotometer serapan atom Younglin 1080, sel membran cair fasa ruah, Neraca Analitik Ainsworth, magnetik stirrer, pH meter Hanna Instruments tipe HI 8010, dan alat-alat gelas kimia lainnya.

Prosedur Kerja

Pembuatan Reagen

Pembuatan Larutan Fasa Sumber

Sejumlah 3,9295 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dicampurkan dengan 3 mL H_2SO_4 0,1 M, kemudian dilarutkan dengan akuades sampai volumenya 1000 mL, larutan yang diperoleh adalah larutan Cu(II) $1,57 \times 10^{-2}$ M. Diambil sebanyak 1 mL, kemudian ditambahkan HCl 0,01 M untuk mengatur pH yang diinginkan (3 - 7) dan ditambahkan larutan buffer asetat untuk menahan pH, larutan diencerkan dengan akuades ke dalam labu ukur 50 mL sampai tanda batas sehingga diperoleh larutan Cu(II) $3,15 \times 10^{-4}$ M.

Pembuatan larutan APDC

Sebanyak 0,0052 g APDC dilarutkan dengan akuades hingga volumenya menjadi 100 mL. Larutan yang diperoleh adalah larutan APDC dengan konsentrasi $3,15 \times 10^{-4}$ M. Untuk membuat larutan kerjanya, larutan ini dicampur dengan larutan Cu(II) dengan perbandingan $\text{Cu(II)} : \text{APDC}$ yaitu 1:6, 1:10, 1:15, 1:20, 1:30, dan 1:32.

Pembuatan Larutan Fasa Membran

Diambil 30 mL larutan kloroform dan dimasukkan ke dalam beker gelas sel membran cair fasa ruah yang difungsikan sebagai fasa membran.

Pembuatan Larutan Fasa Penerima

Fasa penerima merupakan larutan dari asam kuat (asam klorida, asam sulfat, dan asam nitrat) dengan konsentrasi 1-5 M.

Penentuan Transpor Cu(II) dengan Teknik Membran Cair Fasa Ruah

Proses transpor dilakukan seperti percobaan Savafi (1998). Percobaan dilakukan seperti pada Gambar 3. Disiapkan beker gelas 50 mL dan dimasukkan sebagai fasa membran yaitu 30 mL kloroform. Dalam larutan fasa membran ini dicelupkan sebuah tabung kaca silindris dan dipipetkan ke dalamnya 6 mL larutan fasa sumber berupa Cu(II)

dan APDC pada pH 3 sampai 7. Di luar tabung gelas dipipetkan 12 mL fasa penerima asam nitrat, asam sulfat, atau asam klorida pada konsentrasi tertentu. Teknis operasi dilakukan melalui pengadukan dengan memakai magnetik stirer pada kecepatan 300 rpm selama 1 jam. Setelah pendiaman 15 menit, fasa penerima dan fasa sumber diambil untuk diukur jumlah konsentrasi ion yang terkandung di dalamnya dengan spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang λ_{maks} 324,7 nm.

Penetapan Konsentrasi Ion dengan Spektrofotometer Serapan Atom

Konsentrasi Cu(II) di dalam fasa sumber dan fasa penerima sesudah proses transpor ditentukan dengan spektrofotometer serapan atom melalui metoda kurva kalibrasi. Pengukuran konsentrasi Cu(II) dilakukan pada λ_{maks} : 324,7 nm. Kurva kalibrasi dibuat dari pengukuran absorban konsentrasi larutan standar 1, 2, 4, 6, 8, 10, dan 15 ppm. Dari hasil pengukuran, dibuat persamaan regresi linear Cu(II). Kurva kalibrasi dibuat setiap kali pengukuran dan setiap kondisi percobaan. Dengan mensubstitusikan harga absorban ion sampel pada kurva kalibrasi standar, maka konsentrasi sampel dapat diketahui.

Penentuan Kondisi Optimum Transpor Cu(II)

Pengaruh pH fasa sumber (dari 3 - 7)

Larutan induk sebanyak 1 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL. Sejumlah 0.0155 gram APDC dipanaskan dalam akuades. Setelah dingin, larutan dimasukkan ke dalam labu 50 mL yang berisi Cu(II) $3,15 \times 10^{-4}$ M, lalu ditambahkan HCl 0,01 M untuk menurunkan pH dan ditambahkan larutan buffer asetat untuk menahan pH, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda batas. Variasi pH dilakukan pada daerah 3 – 7. Prosedur selanjutnya sama dengan prosedur 3.4.1.

Pengaruh reagen penerima (H₂SO₄, HCl, dan HNO₃)

Prosedur kerja seperti prosedur 3.4.3.1, tetapi menggunakan pH optimum dari pH fasa sumber yang diperoleh pada prosedur tersebut.

Pengaruh konsentrasi APDC (1:6 - 1:32)

Prosedur kerja seperti prosedur 3.4.3.1, tetapi menggunakan pH dan reagen penerima optimum dari prosedur sebelumnya.

Pengaruh konsentrasi reagen penerima (1 - 5 M)

Prosedur kerja seperti prosedur 3.4.3.1, tetapi menggunakan pH, reagen

penerima, dan konsentrasi APDC optimum dari prosedur sebelumnya.

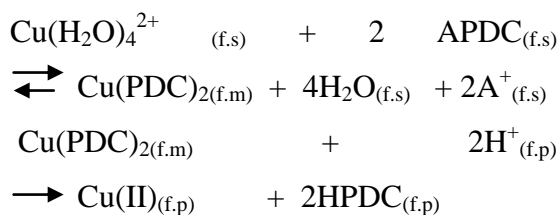
Pengaruh lama pengadukan (1 – 5 jam)

Prosedur kerja seperti prosedur 3.4.3.1, tetapi menggunakan kondisi optimum dari prosedur sebelumnya.

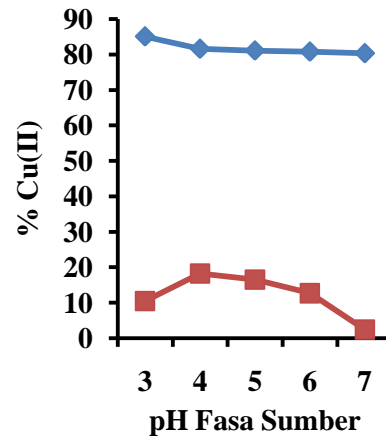
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh pH Fasa Sumber

pH merupakan faktor yang sangat mempengaruhi interaksi Cu(II) dalam membentuk kompleks dengan APDC seperti reaksi di bawah ini. Pada pH yang tepat Cu(PDC)_2 akan terbentuk dan terjadi ekstraksi Cu(II) dari fasa sumber ke fasa membran karena kompleks ini larut baik dalam pelarut organik dan selanjutnya distripping ke fasa penerima karena keberadaan asam sulfat.



Kompleks Cu(II) dengan APDC ini merupakan kompleks tidak bermuatan dimana melalui kesetimbangan reaksi yang diatur sedemikian rupa melibatkan proses transpor Cu(II) dari fasa sumber ke fasa membran dan berlanjut ke fasa penerima.



Gambar 4. Pengaruh pH terhadap jumlah Cu(II) ke fasa penerima (-■-) dan sisa Cu(II) dalam fasa sumber (-♦-).

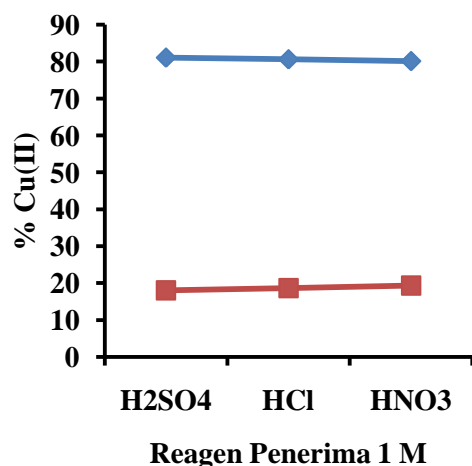
Kondisi percobaan : Fasa sumber 6 ml Cu(II) $3,15 \times 10^{-4}$ M mengandung APDC dengan perbandingan konsentrasi Cu(II) : APDC (1 : 6), dengan variasi pH 3-7, fasa membran 30 ml kloroform dan fasa penerima 12 ml H_2SO_4 1 M, lama pengadukan 1 jam, dan kecepatan pengadukan 300 rpm.

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa Cu(II) sudah banyak terekstrak ke fasa penerima pada daerah pH 3 – 6,5 dan persentase Cu(II) yang terbesar di fasa penerima terjadi pada pH fasa sumber 4, yaitu 18,25 % sedangkan persentase Cu(II) sisa di fasa sumber saat ini 81,58 % sedangkan Cu(II) yang masih terperangkap di dalam fasa membran 0,17 %. Di sini dapat dilihat bahwa pada keadaan asam, kompleks Cu(PDC)_2 mengalami kesetimbangan reaksi yang sangat baik untuk mentranspor Cu(II) karena keberadaan H_2SO_4 di fasa penerima. Tingginya kurva persentase Cu(II) yang tersisa di fasa sumber daripada yang

tertransport ke fasa penerima disebabkan masih belum sepenuhnya pembentukan kompleks Cu(II) dengan APDC karena jumlah APDC yang tersedia di fasa sumber masih kecil sehingga tidak semua Cu(II) dapat diperangkap untuk membentuk kompleks dengan APDC. Bila pH fasa sumber semakin besar, maka Cu(II) mempunyai kecenderungan untuk mulai mengendap di fasa sumber sehingga persentase yang dihasilkan di fasa penerima menjadi turun.

Pengaruh Jenis Reagen Fasa Penerima

Percobaan selanjutnya adalah menentukan reagen yang cocok untuk menarik Cu(II) ke fasa penerima.



Gambar 5 Pengaruh jenis reagen fasa penerima terhadap jumlah Cu(II) ke fasa penerima (-■-) dan sisa Cu(II) dalam fasa sumber (-◆-).

Kondisi percobaan : Fasa sumber 6 ml Cu(II) $3,15 \times 10^{-4}$ M mengandung APDC dengan perbandingan konsentrasi Cu(II) : APDC (1 : 6), pH fasa sumber 4, fasa membran 30 ml kloroform, dan fasa penerima 12 ml H₂SO₄ 1 M, HNO₃ 1 M,

dan HCl 1 M, lama pengadukan 1 jam, dan kecepatan pengadukan 300 rpm.

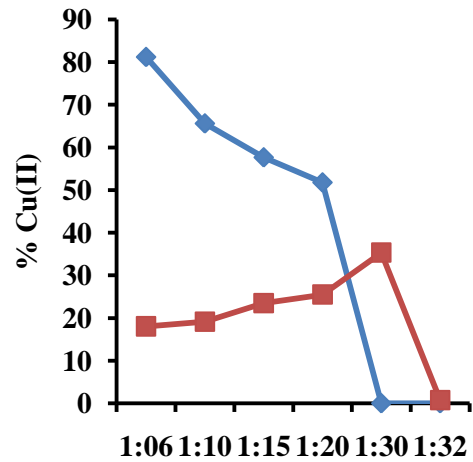
Jenis reagen penerima yang akan digunakan dipilih dari ketiga asam berikut yaitu asam sulfat (H₂SO₄), asam nitrat (HNO₃), dan asam klorida (HCl) dengan konsentrasi 1 M. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa ketiga asam tersebut memenuhi untuk dipakai sebagai reagen penerima. Pada penelitian ini dipilih asam nitrat (HNO₃) sebagai fasa penerima karena asam ini relatif lebih tinggi mentranspor Cu(II) daripada asam yang lain (19,30 %). Dalam hal ini asam nitrat ternyata dapat menarik Cu(II) ke fasa penerima lebih baik dibandingkan dengan asam-asam yang lain. Hal ini disebabkan oleh karena asam nitrat di fasa penerima merupakan sumber proton yang kuat untuk memprotonasi pengompleks dan membebaskan Cu(II) ke dalam fasa penerima. Cu(II) yang tersisa di fasa sumber masih banyak, hal ini juga disebabkan oleh karena APDC yang digunakan untuk mengomplekskan Cu(II) masih sedikit sehingga persentase Cu(II) yang tersisa di fasa sumber tinggi. Pada kondisi ini, persentase Cu(II) sisa di fasa sumber sebesar 80,13 % dan Cu(II) yang masih terperangkap di dalam fasa membran 0,57 %.

Pengaruh Konsentrasi APDC

APDC merupakan senyawa pengompleks, dikenal dapat digunakan untuk mengekstrak ion-ion logam dalam larutan. Kompleks ion logam dengan senyawa ini merupakan kompleks yang tidak bermuatan sehingga larut baik dalam pelarut organik. Daerah pH kestabilannya yang cukup besar dalam membentuk kompleks dengan banyak ion-ion logam maka senyawa ini sering dipakai dalam sistem ekstraksi untuk memisahkan ion-ion dari dalam larutan berair. Di sini APDC digunakan sebagai zat pembawa untuk mentranspor Cu(II) dari fasa sumber ke fasa membran melalui proses reaksi pengompleksan dengan cara menginteraksikan Cu(II) sebagai sampel dan APDC sebagai zat pembawa di fasa sumber pada perbandingan 1:6 s/d 1:32.

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa APDC sebagai zat pembawa mampu meningkatkan transpor Cu(II) ke fasa penerima dan mencapai optimum pada perbandingan Cu(II) : APDC 1:30. Pada kondisi ini persentase Cu(II) yang diperoleh di fasa penerima adalah 35,29 %, dimana Cu(II) tidak terdeteksi lagi di fasa sumber. Dalam kasus ini Cu(II) banyak yang terperangkap di dalam fasa membran, yaitu sebesar 64,71 %. Jumlah ini akan makin meningkat jika perbandingan dinaikkan menjadi 1:32, maka didapatkan persentase Cu(II) di fasa penerima turun

menjadi 0,73 % dan yang terperangkap dalam membran naik menjadi 99,27 %.



Perbandingan Cu(II) : APDC

Gambar 6. Pengaruh variasi konsentrasi APDC terhadap jumlah Cu(II) ke fasa penerima (-■-) dan sisa Cu(II) dalam fasa sumber (-♦-).

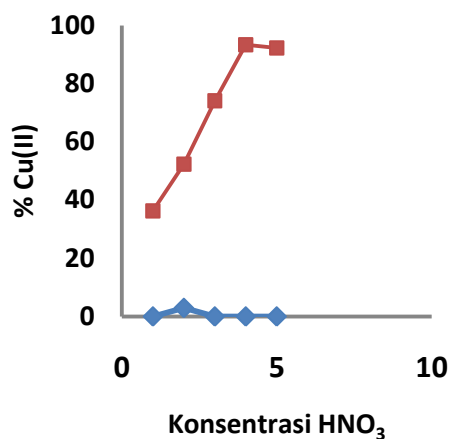
Kondisi percobaan : Fasa sumber 6 ml Cu $3,15 \times 10^{-4}$ M mengandung APDC dengan perbandingan 1:6 sampai 1:32, pH fasa sumber 4, fasa membran 30 ml kloroform, dan fasa penerima 12 ml HNO₃ 1 M, lama pengadukan 1 jam,

Hal ini disebabkan kompleks Cu(PDC)₂ yang terbentuk sangat stabil sehingga banyak terperangkap dalam fasa membran dan sulit ditarik oleh HNO₃ ke fasa penerima.

Pengaruh Konsentrasi HNO₃ di Fasa Penerima

Untuk meningkatkan sistem transpor Cu(II) ke fasa penerima, konsentrasi HNO₃ di fasa penerima merupakan faktor yang ikut mempengaruhi transpor ion logam. Disini asam nitrat dipakai sebagai reagen penerima, berfungsi menarik ion Cu(II) yang ada di fasa membran agar sampai ke

fasa penerima melalui proses reaksi protonasi asam terhadap kompleks Cu(PDC)_2 di antarmuka fasa membran dengan fasa penerima. Interaksi ini akan makin bertambah kuat sesuai dengan kekuatan dan konsentrasi asam yang dipakai di fasa penerima. Peningkatan konsentrasi HNO_3 yang dipakai sebagai reagen penerima untuk proses reaksi protonasi ini dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi HNO_3 dari 1 M sampai 5 M . Pengaruh yang berarti dapat dilihat dari kurva Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Pengaruh variasi konsentrasi HNO_3 terhadap jumlah Cu(II) ke fasa penerima (-■-) dan sisa Cu(II) dalam fasa sumber (-◆-).

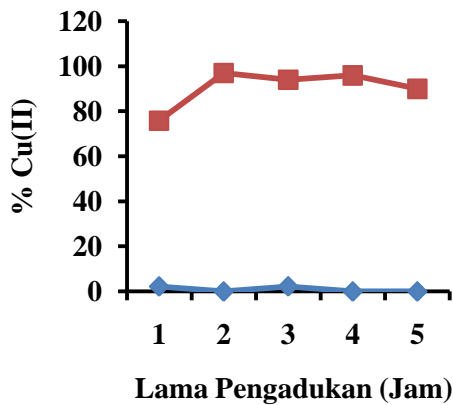
Kondisi percobaan : Fasa sumber 6 ml $\text{Cu } 3,15 \times 10^{-4} \text{ M}$ mengandung APDC dengan perbandingan 1:30, pH fasa sumber 4, fasa membran 30 ml kloroform, dan fasa penerima 12 ml HNO_3 1 M sampai 5M, lama pengadukan 1 jam, dan kecepatan pengadukan 300 rpm.

Gambar 7 memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam nitrat maka transpor Cu(II) ke fasa penerima

juga semakin meningkat sampai mencapai optimum pada konsentrasi asam nitrat 4 M, dengan Cu(II) yang diperoleh saat itu sebesar 93,35 % dan konstan dengan peningkatan konsentrasi lebih lanjut. Hal ini disebabkan karena dengan semakin tinggi kekuatan proses protonasi, maka kesetimbangan reaksi yang terjadi pada kompleks Cu(PDC)_2 di antarmuka fasa membran dengan fasa penerima lebih cenderung ke arah pelepasan Cu(II) sehingga meningkatkan transpor Cu(II) ke fasa penerima. Pada kondisi ini, Cu(II) tersisa di fasa sumber tidak terdeteksi dan yang masih terperangkap di fasa membran 5,12 %.

Pengaruh Lama Pengadukan

Lama pengadukan sangat mempengaruhi proses transpor yang terjadi dari suatu ion logam karena faktor pengadukan sangat mempengaruhi interaksi tumbukan antar molekul dalam memperlancar terjadinya proses difusi. Untuk meningkatkan sistem transpor Cu(II) ini antarfasa lama pengadukan divariasikan dari 1 sampai 5 jam.



Gambar 8. Pengaruh variasi lama pengadukan terhadap jumlah Cu(II) ke fasa penerima (-■-) dan sisa Cu(II) dalam fasa sumber (-◆-).

Kondisi percobaan : Fasa sumber 6 ml Cu $3,15 \times 10^{-4}$ M mengandung APDC dengan perbandingan 1:30, pH fasa sumber 4, fasa membran 30 ml kloroform, dan fasa penerima 12 ml HNO₃ 4M, lama pengadukan 1 sampai 5 jam, dan kecepatan pengadukan 300 rpm.

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara lama pengadukan terhadap persentase transpor Cu(II) melalui membran cair fasa ruah setelah kondisi optimum dengan konsentrasi Cu(II) di fasa sumber $3,15 \times 10^{-4}$. Dengan bertambahnya waktu pengadukan maka akan meningkatkan persentase transpor Cu(II) ke fasa penerima sampai mencapai waktu transpor optimum pada 2 jam, dan konstan dengan peningkatan lama pengadukan. Persentase transpor Cu(II) di fasa penerima sebesar 97,06 %. Sedangkan persentase Cu(II) sisa di fasa sumber tidak terdeteksi. Sisanya masih terperangkap di dalam fasa membran 2,94 %. Kondisi ini

merupakan kondisi optimum dari sistem transpor Cu(II) dengan menggunakan APDC sebagai zat pembawa melalui teknik membran cair fasa ruah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa spesifikasi transpor Cu(II) dengan konsentrasi $3,15 \times 10^{-4}$ M menggunakan APDC sebagai zat pembawa dapat diperoleh melalui teknik membran cair fasa ruah. Kondisi optimum dari transpor Cu(II) antar fasa melalui metoda ini adalah pH fasa sumber 4, perbandingan konsentrasi Cu(II) dengan APDC dalam fasa sumber 1:30, konsentrasi HNO₃ 4 M untuk fasa penerima, dan lama pengadukan 2 jam. Pada kondisi ini didapatkan persentase transpor Cu(II) ke fasa penerima 97,06 % ($1,53 \times 10^{-4}$ M), persentase Cu(II) tersisa di fasa sumber tidak terdeteksi, dan persentase Cu(II) yang masih terperangkap di fasa membran 2,94 %.

Saran

Penelitian ini merupakan penelitian pendahuluan khusus untuk Cu(II), maka untuk penelitian lanjut perlu dilakukan pengkajian optimasi spesifikasi ekstraksi terhadap ion-ion lain oleh APDC sehingga APDC ini dapat lebih efektif dimanfaatkan

untuk mengekstraksi ion-ion tersebut secara serentak.

DAFTAR PUSTAKA

1. Coehoso, I. M., Crespo, J. P. S. G., Carrondo, M. J. T. Kinetics of Liquid Membrane Extraction in System with Variable Distribution Coefficient. *J. Membr. Sci.* **127** : 141 - 152. 1997
2. Darmono. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran, Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. UI Press. Jakarta. 2001
3. D.W Connel and G.J. Miller. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. UI Press. Jakarta. 1995
4. Frank C.L. *Toksikologi Dasar*. UI Press. Jakarta. 1995
5. G.W Bryan. Heavy Metal Contamination In the Sea. Academic Press. London. 1979
6. Ismono. *Ekstraksi Pelarut*. Diktat Kuliah S-2 Kimia ITB, Bandung. 1984
7. J.J Lagoswki. *MacMillan Encyclopedia of Chemistry*. Vol II. MacMillan References USA. New York. pp 4-21. 1997
8. Linden, Vander., and Ketelaere. Selective Recupertaion of Coper by Supported Liquid Membrane Extraction. *J. Membrane. Sci.* **139** : 125 - 135. 1998
9. Morrison, H.G., and F. Hendry. Solvent Extraction Indonesia analytical Shemistry. Jhon Whilley and Son. 10 – 15. 1957
10. Molina, C., Arenas, L., Viotoria, and Ibanez, J. A. Characterization of Membrane System. Complex Character of the Permeability from an Electrical Model. *J. Phys. Chem.* **101**: 10323-10331. 1997
11. Mulder, M. *Basic Principle of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht. pp. 244-259. 1991
12. Olly, Norita. *Transpor Antar Fasa dari Ion Tembaga (II) Melalui Membran Cair Fasa Ruah*. Padang: UNAND. 2001
13. Parham, H., and Shamsipur, M. Selective Membrane Transport of Pb²⁺ ion by a Cooperative Carrier Composed of 18-Crown-6, tetrabutylammonium Iodide and Palmitic Acid. *J. Membr. Sci.* **95** : 21 – 27. 1994
14. Richard, A. B. *Chemical Separation with Liquid Membrane*. ACS Symposium Series 642. Eds. American Chemical Society. Washington DC. pp 1-202. 1996
15. Safavi, A., and Shams, E. Selective and Efficient Transport of Hg (II) Through Bulk Membrane Using Methyl Red as Carrier. *J. Membr. Sci.* **144** : 37 – 43. 1998
16. Szpakowska, M., Nagy O. B. Stability of Supported Liquid Membranes Containing Acorga P-50 as Carrier. *J. Membr. Sci.* **129**: 251-261. 1997
17. Khopkar, S. M. Konsep Dasar Kimia Analitik. UI Press. Hal 71 – 83. 1990
18. Yathi, Udin Hasanah. *Ekstraksi Ion Fe (III) dengan Ekstraktan APDC dalam MIBK*. Semarang: FMIPA. 2006