

# TRANSPOR ION LOGAM Cu(II) MENGGUNAKAN MINYAK KELAPA (*COCOS NUCIFERA L.*) SEBAGAI MEMBRAN CAIR MELALUI TEKNIK MEMBRAN CAIR FASA RUAH

Refinel Refinel<sup>a\*</sup>, Olly Norita Tetra<sup>a</sup>, Shofiyah Anwar<sup>a</sup>

(a) Departemen Kimia, Universitas Andalas, Padang 25156, Indonesia

\*Corresponding author: [refinelnafi21@gmail.com](mailto:refinelnafi21@gmail.com)

## Abstract

Increasing industrial activities throughout the world produce a large amount of waste, including materials that contain heavy metal ions. One of the heavy metals found in industrial waste is copper ion Cu(II). Liquid membrane technology using vegetable oil as the membrane phase can be an environmentally friendly alternative metal transportation process. Transport of Cu(II) ions was carried out using bulk liquid membrane technology using coconut oil as the phase membrane. According to the Minister of Health Regulation No. 492/menkes/per/IV/2010 concerning Drinking Water Quality Requirements, the threshold limit of Cu(II) ions in waters is 2 mg/L. Many ways have been done to separate heavy metal ions from this industrial waste. In this study, the transport of Cu(II) ions through coconut oil membrane and as the receiving phase of ethylenediaminetetraacetic (EDTA) has been carried out. The optimization results obtained, namely the source phase of Cu(II) metal ions pH 4 with a concentration of  $3.147 \times 10^{-4}$  M, the receiving phase of EDTA solution pH 7 with a concentration of 0.06 M, 200 rpm stirring speed, obtained the transport of Cu(II) metal ions to the receiving phase, namely, 23.44% with a transport time of 1 hour. Furthermore, the test was carried out with the same optimum conditions using HCl as the receiving phase, and the percentage value of Cu(II) metal ions in the receiving phase was 25%, from using the EDTA receiving phase.

## Keywords

Ion Cu (II)  
EDTA  
Coconut Oil  
Bulk Liquid Membrane

Received: May 2024

Revised: June 2024

Accepted: August 2024

Available online: November 2024

## 1. Pendahuluan

Kegiatan industri saat ini telah memberikan dampak positif terhadap kehidupan perekonomian masyarakat, terutama meningkatkan kualitas dalam kehidupan sehari-hari. Industri berkembang dengan pesat menghasilkan limbah dalam jumlah besar, beberapa di antaranya mengandung ion logam berat seperti kromium, besi, kobalt, nikel, tembaga, seng, kadmium, merkuri, dan timbal yang dapat memperburuk kondisi lingkungan<sup>[1]</sup>. Limbah yang mengandung ion logam berat biasanya dibuang dan menjadi pencemaran lingkungan. Pengolahan pembuangan limbah sangatlah penting sehingga tidak menyebabkan pencemaran lingkungan lebih lanjut<sup>[2]</sup>.

Nilai ambang batas untuk ion logam Cu adalah 0,02 mg/L menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021<sup>[3]</sup>. Pada umumnya limbah cair industri diolah secara biologis dan kimia,

sehingga industri perlu menyediakan prasarana dan biaya untuk pengolahan *sludge*, memerlukan lahan yang cukup luas dan energi yang besar. Untuk meminimalisir masalah tersebut salah satu teknologi yang dapat digunakan pada pengolahan limbah cair melalui sistem membran cair, termasuk, membran cair fasaruah, membran cair emulsi, dan membran cair berpendukung<sup>[4]</sup>.

Teknologi membran cair fasa ruah mempunyai beberapa keunggulan, proses pemisahannya berlangsung pada suhu ruangan, dapat dilakukan secara terus menerus. Model sel membran disesuaikan dengan kebutuhan jenis membran cairnya, membran cair dapat digunakan kembali, ramah lingkungan karena tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan<sup>[5]</sup>. Membran cair fasa ruah terdiri dari fasa sumber, fasa penerima dan fasa membran mengandung senyawa pembawa yang tepat sehingga ekstraksi

selektif dari zat yang diinginkan dapat dicapai<sup>[6]</sup>.

Donat, R (2017) dalam penelitiannya melaporkan proses transport ion Cu(II) bahwa menggunakan metode membran cair fasa ruah dari fasa sumber ke fasa penerima mencapai 93,50% pada kondisi optimum fasa sumber pH adalah 9.

Membran yang digunakan pada penelitian tersebut mengandung zat pembawa yaitu TNOA (Tri-n-octylaluminum) dalam kerosin<sup>[7]</sup>. Namun penggunaan membran seperti kerosin merupakan zat yang mudah menguap, berbahaya dan beracun. Kekurangan memakai pelarut organik adalah mudah menguap, menyebabkan pencemaran lingkungan, beracun, serta menimbulkan resiko terkait proses bila digunakan dalam jumlah besar<sup>[8]</sup>. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan percobaan dengan menggunakan minyak kelapa yang merupakan membran organik serupa dengan penelitian yang dilakukan ChangSH, (2011) melakukan transport ion logam Cu(II) menggunakan minyak<sup>[9]</sup>. Penggunaan minyak nabati biasanya digunakan sebagai pelarut organik karena minyak nabati merupakan senyawa yang tidak beracun, volatilitas rendah dan ramah lingkungan. Minyak nabati sebagai membran cair dalam teknologi membran telah dilaporkan dalam banyak penelitian seperti perolehan kembali ion logam Cu(II), ion Cd(II) asam asetat, fenol, dan lignosulfonat<sup>[10-13]</sup>. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan untuk menentukan optimasi transport ion logam Cu(II) menggunakan minyak kelapa (*Cocos nucifera L.*) sebagai membran cair melalui teknik membran cair fasa ruah.

## 2. Bahan dan Metoda

### 2.1. Bahan Kimia

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak kelapa (Sun Kara), garam  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Loba Chemie PVT. LTD), asam klorida 37% (HCl) (Merck), dinatrium EDTA ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ) (Titriplex III), larutan buffer asetat, NaOH (Merck), dan akuades.

### 2.2. Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sel membran cair fasa ruah, yaitu gelas piala, *magnetic stirrer*, *magnetic bar* (ukuran 1,5 cm), neraca analitis (Ainswort), kertas pH, *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) Shimadzu AA-6300, dan alat-alat laboratorium lainnya.

## 2.3. Prosedur Penelitian

### 2.3.1. Pembuatan Larutan Fasa Sumber

Sejumlah 8,52 g garam  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $M_r = 170,5 \text{ g/mol}$ ) dilarutkan dengan akuades di dalam labu ukur 500 mL sampai tepat tanda batas dan didapatkan larutan induk yang mengandung ion Cu(II) 0,1 M. Setelah itu diambil sebanyak 25 mL diencerkan dalam labu 250 mL didapatkan larutan 0,01 M ion logam Cu(II). Larutan Cu(II) diambil 7,9 mL diatur pH nya dengan menambahkan larutan buffer asetat kemudian diencerkan ke dalam labu ukur 250 mL sampai tanda batas sehingga diperoleh larutan ion Cu(II)  $3,147 \times 10^{-4} \text{ M}$  sebagai fasa sumber.

### 2.3.2. Pembuatan Larutan Fasa Membran

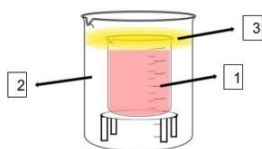
Larutan yang digunakan sebagai fasa membran adalah 50 mL minyak kelapa tanpa penambahan minyak hidrolisis, 50 mL minyak kelapa ditambah minyak hidrolisis dengan perbandingan 4:1 dan 3:2.

### 2.3.3. Pembuatan Larutan Fasa Penerima

Sebanyak 9,31 gram  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ( $M_r = 372,24 \text{ g/mol}$ ) dilarutkan dengan akuades sampai volumenya 250 mL hingga tepat tanda batas. Larutan fasa penerima yang diperoleh berupa EDTA dengan konsentrasi 0,1 M. Kemudian diambil 125 mL diatur pH dengan menambahkan larutan buffer asetat dan diencerkan dalam labu ukur 250 mL dengan akuades sampai tepat tanda batas didapatkan EDTA 0,05 M yang digunakan sebagai fasa penerima.

### 2.3.4. Prosedur Transport Ion Logam Cu(II) dengan Teknik Membran Cair Fasa Ruah

Proses transport dilakukan seperti percobaan Murat dkk. Disiapkan beaker gelas 250 mL dan dimasukkan 120 mL larutan  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  (fasa penerima) dan fasa sumber berisi 65 mL Cu(II) pada pH tertentu ditempatkan ke dalam gelas piala kecil. Fasa membran yang berupa 50 mL minyak dituangkan di atas kedua fasa tersebut. Pengerjaan dilakukan di atas *magnetic stirrer*. Teknik operasi dilakukan dengan pengadukan pada kecepatan 200 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.



**Gambar 1.** Model alat teknik membran cair fasa ruah (1) Fasa sumber terdiri dari 65 mL larutan ion Cu(II); (2) Fasa penerima terdiri dari 120 mL larutan EDTA; (3) Fasa membran terdiri dari 50 mL minyak kelapa

### 3. Hasil dan Diskusi

#### 3.1. Karakteristik Minyak Kelapa sebagai Fasa Membran

Karakteristik minyak kelapa sebagai fasa membran dalam proses transpor ion, yaitu sifat fisik minyak kelapa yang digunakan dalam percobaan, sangatlah penting. Sifat minyak kelapa yang ditentukan pada penelitian ini adalah viskositas minyak, massa jenis minyak, dan kandungan asam lemak bebas minyak.

**Tabel 1.** Karakteristik minyak kelapa

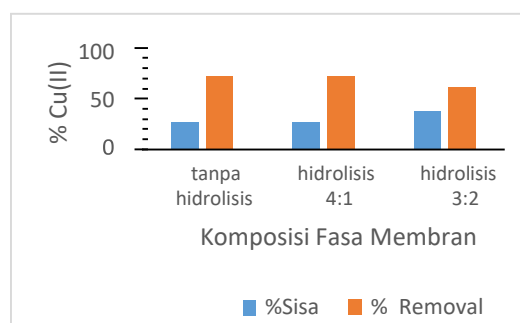
Minyak Kelapa	Viskositas (poise)	Massa Jenis (g/L)	Kadar Asam Lemak Bebas (%)
Tanpa Hidrolisis	11,73	0,9177	1,76
Hidrolisis	10,08	0,8984	1,52

Viskositas minyak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap proses difusi transpor ion logam Cu(II), dimana semakin besar viskositas fluida, maka semakin sulit suatu benda bergerak di dalam fluida tersebut. Minyak kelapa murni memiliki nilai viskositas yang relatif tinggi yaitu 11,73 poise, sedangkan minyak kelapa terhidrolisis memiliki nilai viskositas yang lebih rendah yaitu 10,08 poise. Viskositas yang lebih tinggi memerlukan lebih banyak energi untuk mengatasi hambatan. Hal ini dapat mengurangi laju transpor massa saat melintasi membran<sup>[14]</sup>. Tujuan hidrolisis minyak yaitu agar menghasilkan asam lemak bebas yang dapat berfungsi sebagai zat pembawa (*carrier*) dan untuk mempercepat terjadinya proses transpor<sup>[15]</sup>.

Asam lemak bebas produk hidrolisis pada minyak kelapa berasal dari ester trigliserida yaitu mengandung komponen asam lemak rantai pendek dan rantai tak jenuh. Reaksi hidrolisis dilakukan dalam kondisi katalis asam sehingga reaksi hidrolisis lebih mudah terjadi<sup>[16]</sup>.

#### 3.2. Pengaruh Jenis Membran pada Transpor Ion Logam Cu(II)

Pengaruh jenis membran merupakan percobaan pertama untuk menentukan kondisi optimal transpor ion Cu(II). Jenis membran yang digunakan sangat mempengaruhi proses transpor dari fasa sumber ke fasa penerima. Minyak kelapa merek Sun Kara digunakan sebagai fasa membran. Minyak kelapa terhidrolisis digunakan sebagai *carrier* di dalam membran. Gambar 2 menunjukkan hasil pengukuran perubahan fasa membran yang digunakan.



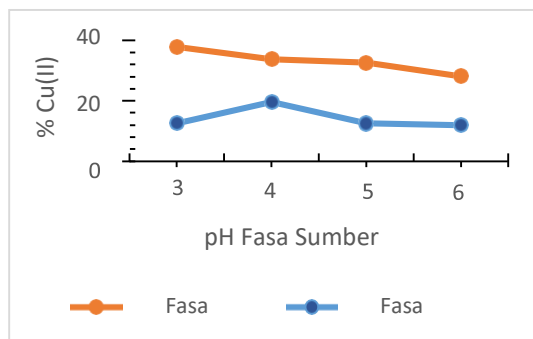
**Gambar 2.** Pengaruh variasi membran terhadap persentase ion logam Cu(II)

Dari data tersebut terlihat bahwa jika minyak kelapa dicampur dengan minyak kelapa terhidrolisis sebagai berikut (5:0, 4:1, 3:2). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2 laju ekstraksi yang diperoleh dari ketiga variasi jenis membran merupakan yang tertinggi pada minyak kelapa murni yaitu sebesar 72% yang menunjukkan adanya transpor dari fasa sumber ke fasa membran. Hal ini disebabkan karena minyak nabati yang digunakan tidak stabil, sehingga mengganggu proses transpor, dan mengurangi proporsi penerima, serta minyak nabati yang digunakan mengandung senyawa trigliserida dan asam lemak bebas. Sebagian dari komponen penyusun minyak kelapa merupakan trigliserida dengan rantai sedang. Senyawa asam lemak bebas ini bereaksi antara ion Cu(II) dengan Na<sub>2</sub>EDTA dan kemudian melepaskan ion H<sup>+</sup> sehingga dapat mengalami hidrolisis diikuti dengan pelepasan ion H<sup>+</sup> dari Na<sub>2</sub>EDTA dalam fasa penerima<sup>[17]</sup>.

#### 3.3. Pengaruh pH Fasa Sumber pada Transpor Ion Logam Cu(II)

Dalam penelitian ini dilakukan perubahan pH dari 3 menjadi 6. Kondisi nilai pH di fasa sumber sangat menentukan interaksi ion Cu(II) pada antarmuka antara fasa sumber dan fasa membran sehingga membentuk kompleks Cu(II). Kompleks dari fasa

sumber berdifusi melalui membran dan bereaksi dengan fasa penerima pada antarmuka fasa membran, mentranspor ion Cu(II) ke fasa penerima<sup>[18]</sup>. Hasil optimal dicapai pada pH 4. Pada pH 4 terjadi reaksi antara ion Cu dan asam laurat.



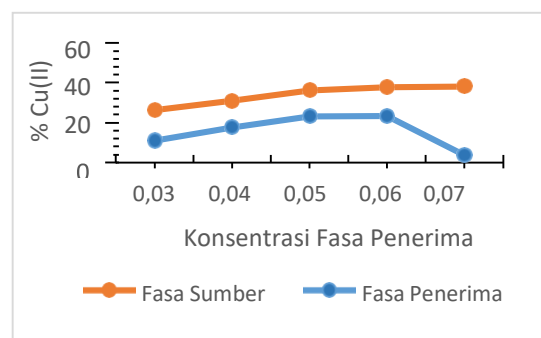
**Gambar 3.** Pengaruh pH fasa sumber terhadap persentase ion logam Cu(II)

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai pH optimum untuk proses ini adalah pH 4. Dalam hal ini jumlah ion Cu(II) yang tertransportasi ke fasa penerima sebesar 19,69% dan sisanya di fasa sumber sebesar 33,76%. Nilai pH fasa dalam fasa sumber yang kecil membatasi transport ion Cu(II). Namun jika nilai pH terlalu tinggi dibandingkan nilai pKa asam lemak bebas dalam minyak kelapa yaitu asam laurat, maka asam laurat akan memasuki fasa sumber dan membentuk ikatan dengan ion Cu(II) sehingga menyebabkan persen transport pada pH 5 dan 6 berkurang ke membran dan terus ke fasa penerima. Asam laurat memiliki nilai pKa 5,3<sup>[19]</sup>. Dapat dikatakan bahwa asam lemak bebas dalam minyak berperan sebagai pembawa dalam proses ini, membantu transport ion logam Cu(II) dari fasa sumber melalui fasa membran dan mengekstraksinya ke fasa penerima.

### 3.4. Pengaruh Konsentrasi Fasa Penerima pada Transport Ion Logam Cu(II)

Dalam penelitian ini, EDTA digunakan sebagai agen akseptor (*stripping*) berdasarkan penelitian sebelumnya<sup>[14]</sup>. EDTA berperan sebagai fasa penerima untuk transport ion logam Cu(II). Penentuan pengaruh konsentrasi fasa penerima bertujuan untuk menentukan konsentrasi optimal pada proses transport ion Cu(II) dari fasa sumber ke fasa penerima yang berperan penting dalam proses dekompleksasi searah. Konsentrasi fasa penerima bertujuan untuk menentukan kondisi EDTA optimal yang dapat digunakan untuk menarik ion logam Cu(II) dari fasa membran ke

fasa penerima. Pada penelitian ini konsentrasi EDTA divariasikan antara 0,03 dan 0,07 M sebagai fasa penerima.



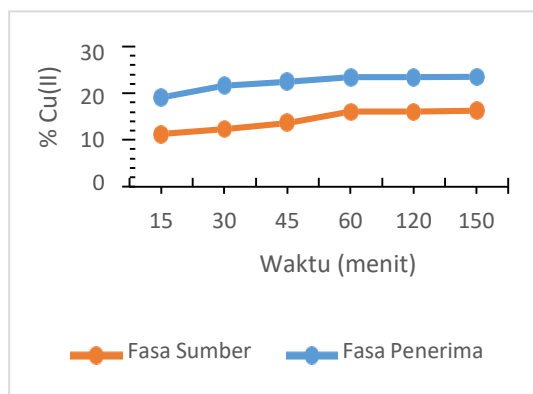
**Gambar 4.** Pengaruh variasi konsentrasi fasa penerima terhadap persentase ion logam Cu(II)

Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4 telah terbukti bahwa konsentrasi EDTA 0,06 M meningkatkan persen ion logam Cu(II) yang sampai ke fasa penerima. Konsentrasi EDTA kecil dan besar dari konsentrasi 0,06 M persen transportnya rendah. Jumlah ion logam Cu(II) tertransportasi adalah 23,33% dan di fasa sumber bersisa 37,85%. Konsentrasi fasa reseptif mempengaruhi interaksi antara fasa membran dan fasa penerima. Kompleks Cu(II) dengan minyak nabati pada fasa membran harus bersifat *reversibel* sehingga dapat berdifusi melalui membran dan mudah terdisosiasi ke fasa penerima pada antarmuka membran. Ketika konsentrasi Na<sub>2</sub>EDTA cukup tinggi, transport Cu(II) menurun dan proses dekompleksasi antara fasa membran dan fasa penerima menjadi lebih sulit. Dekompleksasi ion Cu(II) oleh minyak nabati dalam fasa membran ke fasa penerima dipengaruhi oleh kestabilan kompleksasi Cu(II) dengan Na<sub>2</sub>EDTA pada fasa penerima. Agar transport searah dapat terjadi, kompleks yang terbentuk pada fasa akseptor atau penerima harus lebih stabil dibandingkan kompleks yang terbentuk dalam fasa membran, sehingga transport terjadi satu arah dari fasa sumber ke fasa membran dan berlanjut ke fasa penerima<sup>[20, 21]</sup>.

### 3.5. Pengaruh Waktu Pengadukan pada Transport Ion Logam Cu(II)

Proses transport ion logam Cu(II) pada penelitian ini juga dipengaruhi oleh faktor waktu pengadukan selama proses ekstraksi, memberikan efek yang signifikan terhadap interaksi tumbukkan antar molekul selama proses difusi<sup>[22]</sup>. Oleh sebab itu, lamanya waktu pengadukan mempengaruhi jumlah ion Cu(II) yang tertransportasi dari fasa membran ke fasa penerima,

karena pengadukan mempengaruhi interaksi antara molekul dengan fasa membran dan mempercepat proses transpor.

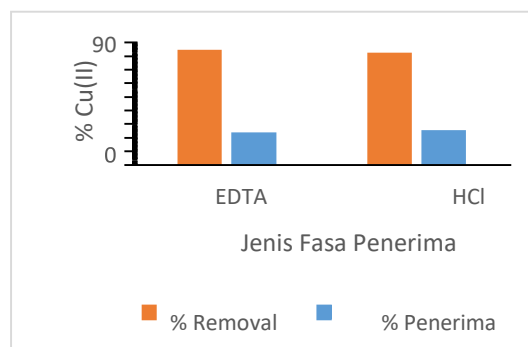


**Gambar 5.** Pengaruh waktu pengadukan terhadap persentase ion logam Cu(II)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengadukan maka proporsi ion logam Cu(II) ditranspor ke fasa penerima juga semakin meningkat. Gambar 5 menunjukkan bahwa persen transpor optimum pada waktu 60 menit. Dibawah 60 menit proses difusi ion Cu(II) dari fasa sumber belum seluruhnya tertranspor ke fasa membran kemudian ke fasa akseptor (penerima), namun waktu melebihi 60 menit, proses difusi mencapai kesetimbangan dan transpornya dapat dilihat bahwa ion Cu(II) mencapai konstan. Persen transport ion Cu(II) optimal diperoleh sebesar 23,44%, dalam fasa sumber ion Cu(II) sebesar 16,07% dan sisanya terperangkap dalam fasa membran.

### 3.6 Uji Menggunakan HCl sebagai Fasa Penerima

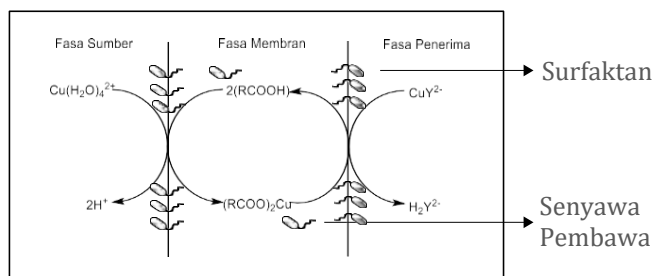
Jenis fasa penerima juga merupakan salah satu parameter yang sangat menentukan keberhasilan transport dengan menggunakan metode membran cair<sup>[23]</sup>. Mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap transpor ion logam Cu(II). Fasa penerima harus mampu menarik ion logam dan membentuk kompleks yang stabil dari fasa membran. Dalam penelitian ini, larutan asam yaitu HCl dengan konsentrasi 0,1 M digunakan sebagai fasa akseptor penerima untuk transpor ion Cu(II).



**Gambar 6.** Hasil transpor menggunakan 2 fasa penerima berbeda

Gambar 6 di atas menunjukkan bahwa fasa penerima HCl lebih banyak mengangkut ion logam Cu(II) dibandingkan dengan EDTA. Penggunaan larutan asam pada fasa penerima, menghasilkan gradien konsentrasi hidrogen yang besar antara fasa umpan (sumber) dengan fasa akseptor penerima. Akibatnya proses protonasi zat pengompleks mudah terjadi pada antar muka fasa membran dengan fasa penerima, sehingga ion Cu(II) di lepas fasa akseptor penerima, hal ini meningkatkan persen transport ke fasa penerima<sup>[7]</sup>. Transpor ion logam terjadi karena adanya perbedaan kondisi antara dua fasa yaitu fasa sumber yang bersifat asam lemah dan fasa penerima yang lebih asam dibandingkan fasa sumber. Pada antarmuka antara fasa sumber dan membran, terjadi reaksi pertukaran antara ion Cu(II) dan ion H<sup>+</sup> yang terikat pada senyawa asam lemak bebas *carrier* dan pada antarmuka antara fasa membran dan fasa penerima, terjadi reaksi pertukaran antara ion H<sup>+</sup> dari fasa penerima dengan ion Cu(II) yang terikat pada senyawa asam lemak bebas *carrier* dan ion Cu(II) dilepaskan ke dalam fasa penerima. Pada tahap selanjutnya, senyawa asam lemak bebas (pembawa) kembali ke bentuk asamnya dan bereaksi dengan ion Cu(II) berikutnya<sup>[24]</sup>. Semakin asam pada fasa penerima, semakin banyak pula ion logam yang transpor pada fasa penerima. Semakin banyak proton (H<sup>+</sup>) yang ada pada fasa akseptor penerima, semakin besar kemungkinan pertukaran dengan ion logam<sup>[25]</sup>.

### 3.7 Mekanisme Transpor Ion Logam Cu(II)

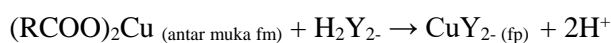


**Gambar 7.** Mekanisme transpor ion logam Cu(II)<sup>[9]</sup>

Dapat dilihat pada Gambar 7 ion Cu(II) yang terdapat pada fasa sumber akan berikatan dengan asam lemak bebas pada minyak kelapa dalam membentuk kompleks pada antarmuka fasa membran. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Ion Cu(II) terikat dengan asam lemak bebas dari minyak kelapa akan berdifusi ke seluruh fasa membran, dan mencapai antarmuka membran - penerima. Kompleks tersebut selanjutnya akan mengalami dekompleksasi dengan Na<sub>2</sub>EDTA (fasa penerima). Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Molekul Cu(II) lolos ke fasa penerima. Kemudian, 2 ion H<sup>+</sup> berikatan dengan ion asam karboksilat dari asam lemak bebas membentuk molekul dan berdifusi kembali melintasi fasa membran dan mencapai antarmuka sumber - membran. Asam lemak bebas adalah molekul pembawa dan juga sebagai surfaktan, hal ini menyebabkan terjadi proses transport yang reversibel akibatnya persen efisien transpor menjadi kecil yaitu 23,44%.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan minyak kelapa (*Cocos nucifera*) diperoleh hasil ion logam Cu(II) yang tertransportasi menuju fasa penerima sebesar 23,44% dan tersisa di fasa sumber 16,07%. Kondisi optimum pH fasa sumber 4 dengan konsentrasi ion Cu(II) 3,147 x 10<sup>-4</sup> M, EDTA sebagai fasa penerima dengan konsentrasi 0,05 M, kecepatan pengadukan 200 rpm dan waktu pengadukan 60 menit. Percobaan juga dilakukan dengan fasa penerima HCl dengan optimasi

yang sama didapatkan persentase ion Cu(II) pada fasa penerima adalah 25,00%. Hasil yang didapatkan meningkat dari pada menggunakan fasa penerima EDTA. Minyak kelapa (*Cocos nucifera* L.) sebagai membran cair kurang efektif dalam transpor ion logam Cu(II) dengan menggunakan teknik membran cair fasa ruah.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu baik materil maupun non materil dari awal penelitian hingga artikel ini ditulis.

## Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: R.

Kurasi Data: S.A., R.

Metodologi: R., O.N.T.

Supervisi: R., O.N.T.

Validasi: R., O.N.T.

Penulisan – draf asli: S.A., R.

Penulisan – peninjauan & penyunting: R., O.N.T.

## Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan dalam pengerjaan dan penulisan manuskrip ini.

## Referensi

- [1] Danarto, Y. C. Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cr(VI) Dengan Adsorben Pasir Yang Dilapisi Besi Oksida. *Ekuilibrium* 2007, 6 (2), 65–70.
- [2] Kamil, K.; Halim Asiri, M. Karakteristik Mekanis Tembaga Hasil Pengecoran Dengan Variasi Waktu Fasa Solidifikasi. 2022, 14.
- [3] Paundan, M.; Khaery, A. Studi Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu) Berdasarkan Nilai Ambang Batas (NAB) Di Sungai Motui Kabupaten Konawe Utara. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan* 2023, 14 (1), 1–7.
- [4] Agustina, S. Teknologi Membran Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri. *Bulletin Penelitian* 2006, 28 (1), 18–24.
- [5] Rachmat, J.; Mustafa, D.; Tetra, O. N. Pengaruh Co(II) Pada Transpor Ni(II) Melalui Teknik Membran Cair Fasa Ruah Dengan Dimetilglioksim Sebagai Zat Pembawa. *Jurnal Kimia Unand* 2014, 3 (3), 19–23.
- [6] Mateescu, M.; Nechifor, G.; Pacurariu, L.; Fierascu,

- I. Transport of Cadmium Ions through a Bulk Liquid Membrane with D2EHPA As Carrier. *U.P.B. Sci. Bull. Series B*. 2013, 75 (2), 67–74.
- [7] Donat, R; Durmaz, O; Citisli, H. The kinetic analysis of optimization and selective transportation of Cu(II) ions with TNOA as carrier by MDLM system. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2017, 25 (4), 415–425.
- [8] Devita, L. Penggunaan Beberapa Pelarut Organik Dalam Ekstraksi Besi(III) Dengan Oksin Secara Ekstraksi Pelarut. *Jurnal Sainstek* 2012, IV (2), 175–184.
- [9] Chang, S. H.; Teng, T. T.; Norli, I. Cu(II) Transport through Soybean Oil-Based Bulk Liquid Membrane: Kinetic Study. *Chemical Engineering Journal* 2011, 173 (2), 352–360.
- [10] Refinel, R; Tetra, O, N; Silvia, M. Transpor Cd(II) menggunakan Membran Cair Minyak Jagung dengan Teknik Membran Cair fasa Ruah. *Jurnal kimia Unand*; 2023 (12),1, 14–17.
- [11] Zereshki, S.; Shokri, A.; Karimi, A. Application of a Green Emulsion Liquid Membrane for Removing Copper from Contaminated Aqueous Solution: Extraction, Stability, and Breakage Study Using Response Surface Methodology. *J. Mol. Liq* 2021, 325, 115–251.
- [12] Bjokegren, S.; Karimi, R. F.; Martinelli, A.; Jayakumar, N. S.; Hashim, M. A. A. A New Emulsion Liquid Membrane Based on a Palm Oil for the Extraction of Heavy Metals. *Membranes (Basel)* 2015, 5, 168–179.
- [13] Kumar, V.; Raghubansh, K. S. Efficient Extraction and Recovery of Lignosulfonate Using Sunflower Oil as Green Solvent in Liquid Membrane Transport: Equilibrium and Kinetic Study. *J. Ind. Eng. Chem* 2018.
- [14] Bhatluri, K. K.; Chakraborty, S.; Manna, M. S.; Ghoshal, A. K.; Saha, P. Separation of Toxic Heavy Metals from Its Aqueous Solution Using Environmentally Benign Vegetable Oil as Liquid Membrane. *RSC Adv* 2015, 5 (107).
- [15] Narayanan, J.; Palanivelu, K. Recovery of Acetic Acid by Supported Liquid Membrane Using Vegetable Oils as Liquid Membrane. *Indian J. Chem. Technol* 2008, 15 (3), 266–270.
- [16] Fauziah; Sirajuddin S; Najamuddin U. Minyak Bekas Hasil Penggorengan Makanan Jajanan Di Workshop UNHAS. Univ Hasanuddin Makasar 2013, 1–9.
- [17] Azis Pangestu, F.; Yuni Hendrawati, T.; Wiwik Handayani. Pengaruh Suhu, Rasio Bahan Baku Terhadap Pelarut Dan Kecepatan Pengadukan Pada Proses Fraksinasi Tripalmitin Dari Fraksi Padat Minyak Sawit. *J. Konversi* 2017, 6 (2).
- [18] Soniya, M.; Muthuraman, G. Comparative Study between Liquid- Liquid Extraction and Bulk Liquid Membrane for the Removal and Recovery of Methylene Blue from Wastewater. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2015, 30, 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.05.032>.
- [19] Su'i, M.; Sumaryati, E.; Suchayono, D. D. Utilization of High Lauric Fraction That Produced from Coconut Endosperm Using Lipase Endogenous as Preservation of Soybean Milk Packaging. *AGRITECH* 2016, 36 (2).
- [20] Refinel, R; Zaharasm, K; Amelia, R. Optimalisasi Transpor Ion Zn(II) Dengan Zat Pembawa Oksin Melalui Teknik Membran Cair Fasa Ruah. *J. Menara* 2005, 1 (5), 23–34.
- [21] Tetra, O, N; Zaharasm, K; Refinel, R; Eka Kurniawaty. Optimalisasi Transpor Zn(II) Dengan Zat Pembaca Ditizon Melalui Teknik Membran Cair Fasa Ruah. *J. Ris. Kim* 2010, 3 (2), 151–157.
- [22] Putri, S. S. Optimalisasi Transpor Metilen Biru Melalui Kloroform Dengan Teknik Membran Cair Fasa Ruah Oleh Pembawa Asam Salisilat, Skripsi Kimia Universitas Andalas, 2013.
- [23] Khalil Farhadi; Motjaba Shamsipur. Separation Study of Cadmium as CdI4<sup>2-</sup> through a Bulk Liquid Membrane Containing Ketoconazole and Oleic Acid. *Analytical Sciences* 2005, 21.
- [24] Mulder, M. Basic Principles of Membrane Technology; Kluwer Academic Publisher: Netherlands, 1996.
- [25] Khanghah, F. A.; Karimi-Sabet, J.; Ghotbi, C. Experimental Study on the Removal of Ca(II) from Aqueous Solution Using a Bulk Liquid Membrane with Facilitated Transport Mechanism. *Chemical Engineering Research and Design* 2023, 191, 353–363.